



EESTI MAAÜLIKOOL

Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut

Eve Kurvits

**ÕRRE- JA PUURIKANALA MIKROKLIIMA
PARAMEETRITE VÕRDLUS NING MIKROKLIIMA MÕJU
MUNATOODANGULE LINNU TALU OÜ NÄITEL**

**A COMPARISON OF MICROCLIMATE CHARACTERISTICS
BETWEEN DEEP LITTER (AVIARY) AND ENRICHED CAGE
HOUSING SYSTEMS OF LAYING HENS AND THE IMPACT
OF MICROCLIMATE ON EGG PRODUCTION: THE CASE
OF LINNU TALU OÜ POULTRY FARM**

Magistritöö

Loomakasvatuse õppekava

Juhendaja: dotsent Allan Kaasik, PhD

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Eve Kurvits		Õppekava: Loomakasvatus	
Pealkiri: Õrre- ja puurikanala mikrokliima parameetrite võrdlus ning mikrokliima mõju munatoodangule Linnu Talu OÜ näitel			
Lehekülgi: 61	Jooniseid: 21	Tabeleid: 12	Lisasid:
Õppetool: Söötmisteaduse õppetool Juhendaja: dotsent Allan Kaasik Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2018			
<p>Mikrokliimal on oluline mõju põllumajanduslindude toodangule ning organismide füsioloogilisele reaktsioonile. Munakanade pidamisel kasutatakse erinevaid tehnoloogiaid, seetõttu esineb ka mikrokliima näitajate vahel erisusi. Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida puuri- ja õrrekanala mikrokliima vahelisi erinevusi. Mikrokliima näitajad mõõdeti kaks korda igal aastaajal Linnu Talu OÜ-s, mille käigus koguti andmeid puuri- ja õrrekanala õhutemperatuuri ja –suhtelise niiskuse ning ammoniaagi-, süsihappegaasi-, metaani-, divesiniksulfiidi- ning peenosakeste sisalduse kohta. Lisaks koguti andmeid mõõtepäevade väliskliima näitajate, lindude arvu ja munatoodangu kohta. Uurimustöö käigus selgus, et puuri- ja õrrekanala temperatuuri, õhuniiskuse-, ammoniaagi-, süsihappegaasi- ja peenosakeste sisalduse vahel esines erinevus. Puurikanala mikrokliima oli stabiilsem kui õrrekanala mikrokliima, mis võis tuleneda allapanu kasutamisest ja stabiilselt suurematest ventilatsioonimahtudest õrrekanalas. Käesolevas magistritöös avaldasid mikrokliima näitajad lindude munatoodangule minimaalset mõju. Esinesid teatavad korrelatsioonid munatoodangu ja mikrokliima parameetrite vahel, kuid kuna andmereal olid suhteliselt lühikesed, siis on konkreetsete järelduste tegemine ennatlik. Varasemalt läbiviidud uuringutes on jõutud järeldusele, et mikrokliima parameetrid mõjutavad lindude munemisintensiivsust.</p>			
Märksõnad: mikrokliima, puurikanala, õrrekanala, munatoodang			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Master's thesis summary	
Author: Eve Kurvits		Curriculum: Animal Science	
Title: A comparison of microclimate characteristics between deep litter (aviary) and enriched cage housing systems of laying hens and the impact of microclimate on egg production: the case of Linnu Talu OÜ poultry farm			
Pages: 61	Figures: 21	Tables: 12	Appendixes:
Chair: Chair of Animal Nutrition Supervisor: Associate Professor Allan Kaasik Place and date: Tartu, 2018			
<p>Microclimate has an important impact on the production of poultry and the physiological response of organisms. Different technologies are used to keep chickens, because of that there are some differences between microclimate indicators. The aim of this Master's thesis was to investigate the differences between the microclimate of the enriched cage and aviary. The parameters of the microclimate were measured twice in each season at Linnu Talu OÜ, during that time data was collected about air temperature, air humidity, ammonia, carbon dioxide, methane, dihydrogen sulfide and fine particle contents in enriched cage and aviary. In addition, data was collected about the indicators of the outdoor climate, the number of birds and egg production for measuring days. Comparison of the measurements the temperature, humidity, carbon dioxide, ammonia and carbon dioxide content difference was statistically significant in enriched cage and aviary. The microclimate of the enriched cage was more stable than the microclimate of the aviary, which could have resulted from the use of bedding and stably increased ventilation volumes in the aviary. The microclimate of the enriched cage was more stable than the microclimate of the aviary, which could have resulted from the use of bedding and stably increased ventilation volumes in the aviary. In this Master's thesis, microclimate indicators have a minimal impact on egg production in poultry. There were some correlations between egg production and microclimate parameters, but because there were not enough data, then making final conclusions is not reasonable. In previous studies, it has been concluded that the parameters of microclimates have an effect on the bird's laying intensity.</p>			
Keywords: microclimate, enriched cage, aviary, egg production			

SISUKORD

LÜHENDITE LOETELU.....	5
1. KIRJADUSE ÜLEVAADE.....	8
1.1. Lindude pidamisviisid.....	8
1.1.1. Munakanade pidamine täiustamata puurides.....	8
1.1.2. Munakanade pidamine täiustatud puurides	9
1.1.3. Munakanade pidamine alternatiivsetel meetoditel	11
1.1.4. Munakanade sügavallapanul pidamine.....	11
1.1.5. Munakanade pidamine õrrekanalas	13
1.2. Lindlate mikrokliima	15
1.2.1. Temperatuur.....	15
1.2.2. Õhuniiskus.....	16
1.2.3. Süsihappegaas ehk süsinikdioksiid	17
1.2.4. Ammoniaak	18
1.2.5. Metaan	19
1.2.6. Divesiniksulfiid	19
1.2.7. Dilämmastikoksiid	20
1.2.8. Peenosakesed.....	21
1.3. Ventilatsiooni mõju mikrokliimale	22
1.4. Sõnnikukoristussüsteemide seos mikrokliimaga	24
1.4.1. Sõnniku eemaldamine puurikanalast	24
1.4.2. Sõnniku eemaldamine sügavallapanuga lindlast	25
1.4.3. Sõnniku eemaldamine õrrekanalast	26
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	28
2.1. Farmi kirjeldus	28
2.2. Andmete kogumine.....	29
2.3. Statistiline analüüs	31
3. TULEMUSED JA ARUTELU	33
KOKKUVÕTE	52
KASUTATUD KIRJANDUS	54
SUMMARY	59
LIHTLITSENTS.....	61

LÜHENDITE LOETELU

CH_4 – metaan

CO_2 – süsihappegaas ehk süsinikdioksiid

H_2S – divesiniksulfiid

N_2O – diämmastikoksiid

NH_3 – ammoniaak

NO – lämmastikoksiid

PM – peenosakesed (particulate matter)

ppm – osakest miljoni osakese kohta (parts per million), cm^3/m^3

SISSEJUHATUS

Lindude heaolule ja jõudlusele avaldavad mõju paljud füüsilised, keemilised ja bioloogilised tegurid. Antud tegurid avalduvad farmis loomade pidamise, farmi ehituslike elementide ja sisseseade, söötmise ja jootmise tehnoloogia, farmis töötavate inimeste, farmi töökorralduse jms kaudu. Lindude ja loomade heaolu riskitegurid tulenevad tehnoloogilistest lahendustest, inimeste tööritmist ja farmi sisekliimast. Farmi sise- ehk mikrokliimat iseloomustavad õhu temperatuur, niiskusesisaldus, ja liikumise kiirus; gaaside-, tolmu- ja mikroobide sisaldus, samuti ventilatsioonimaht, valgustatus ja müra (Kaasik 2014).

Mikrokliimal on oluline mõju põllumajandusloomade ja -lindude toodangule ning organismide füsioloogilisele reaktsioonile. Põllumajandusettevõtetes tuleb tagada lindudele ja loomadele sobiv elukeskkond (Šottnik 2005: 1). Stabiilse elukeskkonna tagamiseks on lindlates kehtestatud kindlad sisekliima nõuded, kuna linnud on ümbritseva keskkonna suhtes tundlikud (Santonja jt 2017: 56).

Nõuded mikrokliimale erinevad mõnevõrra sõltuvalt linnuliigist, sugupoolest, vanusest, produktiivsusest ja pidamisviisist (Tikk jt 2007: 126). Munakanade pidamisel kasutatakse erinevaid tehnoloogiaid, seetõttu esineb ka mikrokliima näitajate vahel erisusi. Järjest enam pööratakse tähelepanu lindude heaolule, kuna mikrokliima avaldab lindude elutegevusele olulist mõju ning seetõttu on antud valdkond linnukasvatuses oluline tegur.

Käesolevas magistritöös võrreldi puuri- ja õrrekanala mikrokliima parameetrite erinevusi ja selle mõju lindude munatoodangule. Munakanu peetakse pärast tavapuurides pidamise keelustamist peamiselt täiustatud puurides ja –õrrekanalates, mis vastavad nimetatud süsteemide erinõuetele (Nõukogu direktiiv 1999/74/EÜ, art 3). Magistritöö eesmärkideks seati:

- anda kirjandusallikate põhjal ülevaade lindude pidamisviisidest ja -tehnoloogiast ning nende erinevusest;

- anda kirjandusallikate põhjal ülevaade lindlate mikrokliima näitajatest ja nende mõjust lindude tervisele ning munatoodangule;
- kirjeldada ventilatsiooni ja sõnnikukoristussüsteemide mõju mikrokliimale;
- võrrelda puuri- ja õrrekanala mikrokliima näitajate erinevusi ja nende mõju munatoodangule Linnu Talu OÜ näitel.

Suur tänu Linnu Talu OÜ juhatusele, tänu kellele antud mõõtmised võimalikuks osutusid, ning personalile nende mõistva suhtumise eest.

Suured tänusõnad minu magistritöö juhendajale dotsent Allan Kaasikule ning Eesti Maaülikooli veterinaariameditsiini ja loomakasvatuse instituudi loomageneetika ja tõuaretuse osakonna dotsent Tanel Kaartile, kes oli abiks statistilise analüüsi teostamisel.

1. KIRJADUSE ÜLEVAADE

1.1. Lindude pidamisviisid

Linnukasvatustes rakendatakse ekstensiivset või intensiivset pidamissüsteemi ning vaba- või puurispidamise tehnoloogiaid. Lindude ekstensiivse vabapidamise tunnusteks on linnukasvatussaaduste sesoonne tootmine, madal produktiivsus, toodanguühiku kohta väike munakogus ning kõrge tööjõu kulu toodanguühiku kohta. Spetsiifiliseks eripäraks on samuti jalutusaedade kasutamine lindude õues pidamisel. Ekstensiivset vabapidamist kasutatakse kodumajapidamistes ja ka väikefarmides, mis on spetsialiseerunud mahelinnukasvatusele (Tikk jt 2007: 136). Intensiivselt võib linde pidada nii puurides, põrandal kui ka õrrekanalas (Santonja jt 2017: 43). Intensiivse pidamistehnoloogia korral on lindlad tavapäraselt sisustatud sõnnikukoristus-, kütte-, söötmis-, jootmis-, ventilatsiooni- ja valgustusseadmetega. Tehnoloogilised lahendused aitavad kaasa linnukasvatussaaduste aastaringsele tootmisel (Tikk jt 2007: 136).

1.1.1. Munakanade pidamine täiustamata puurides

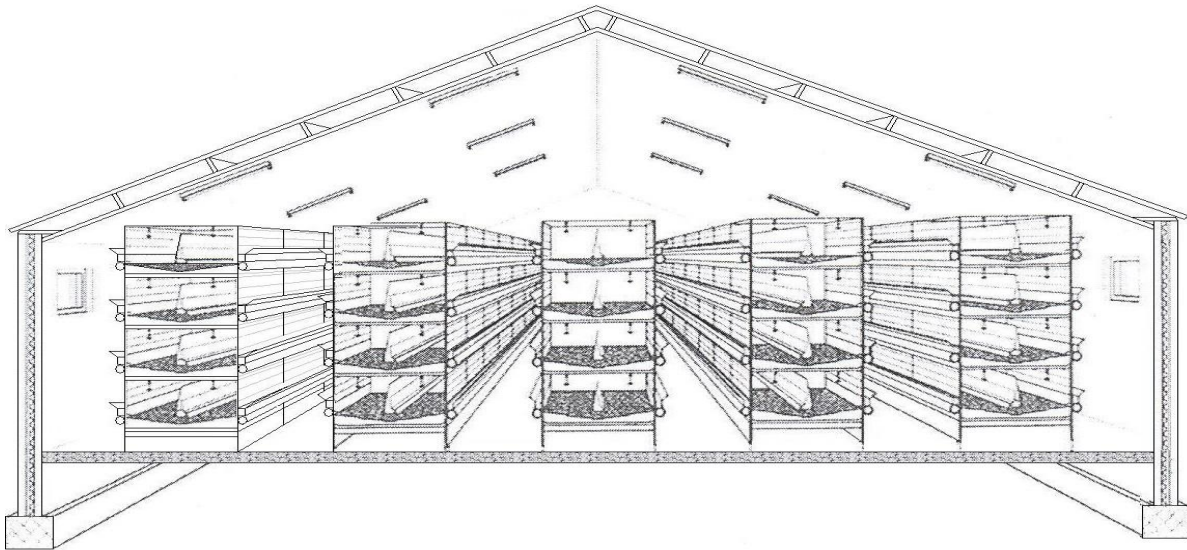
Munakanade pidamine täiustamata puurides toimub kuni kolme korrusega puuripatareides. Uuringutest on selgunud, et suurima munatoodangu saab aga ühekorruselitest puuripatareidest (Tikk jt 2007: 139). Puuri pindala sõltub lindude arvust puuris. Ühe munakana puuri pindala peab olema vähemalt 1000 cm^2 , kahe munakana korral 600 cm^2 kana kohta ja kolme linna pidamisel puuris vähemalt 550 cm^2 kana kohta (RTL 2003, 78, 1146 § 10 lg 1). Söödalava optimaalne laius ühele kanale on 10 cm (Tikk jt 2007: 139). Lindudele tuleb tagada ka vesi, kasutades kas nippeljooturit, tassjooturit või nivoojooturit, mille fondi pikkus peab olema vähemalt 10 cm ühe kana kohta (RTL 2003, 78, 1146 § 10 lg 3). Puuri ehitusel tuleb arvestada, et puuri kõrgus ei tohi olla alla 35 cm ja see peab olema 65% ulatuses

vähemalt 40 cm kõrgune. (*Ibid*: § 10 lg 4). Puuri sügavus peaks aga jääma alla 45...47 cm (Tikk jt 2007: 139).

Uuringud linnukasvatuses on näidanud, et puurikanade munatoodang on allapanul peetavate kanade toodangust 4...8% võrra kõrgem, söödakasutus 5...10% efektiivsem, hukkumisi on haiguste tagajärjel vähem, toodetud munad on puhtamad ja tööjõukulu toodanguühiku kohta on väiksem. Täiustamata puurides ei soovitata pidada ühes puuris rohkem kui kolme kana kuna lindude arvu suurendamine puuris tõi kaasa munatoodangu languse (*Ibid*: 139). Alates 2012. aastast on lindude pidamine täiustamata puurides keelatud, kuna puurid pole varustatud lindudele omaste lisadega (Nõukogu direktiiv 1999/74/EÜ, art 5, lg 2).

1.1.2. Munakanade pidamine täiustatud puurides

Alates 2012. aastast on munakanade pidamine lubatud täiustatud puurides (joonis 1) või alternatiivsete pidamistehnoloogiatega. Täiustatud puurides pidamisel peab linnu kohta olema 750 cm² puuripinda. Minimaalne kogupind puuri kohta võib olla 2000 cm². Tagamaks lindude liigiomast käitumist tuleb puur varustada pesa, allapanu ja õrrega. Allapanu tagab kanadele nokkimise ja siblimise võimaluse. Õrrel tuleb arvestada igale linnule vähemalt 15 cm (Santonja jt 2017: 44). Puuris peab olema söötur, millele kõik linnud korraga ligi pääsevad. Söödalava optimaalne laius ühele kanale on 12 cm. (RTL 2003, 78, 1146 § 11 lg 2). Jooturite paigaldamisel tuleb arvestada, et igal kanal oleks ligipääs vähemalt kahele tassjooturile või nippeljooturile (*Ibid*: § 11 lg 3).



Joonis 1. Täiustatud puuridega kanala ristlõige (Kaasik 2005: 26)

Peamine materjal täiustatud puuride valmistamisel on terastraadist võrk ja terasvardad. Vaheseinteks paigaldatakse plaadid (Tikk jt 2007: 141). Puure võib olla kuni neli korrust ning need tuleb paigalda üksteise peale nii, et vältida väljaheidete langemist alumistele korrustele. Peamine faktor, mis mõjutab täiustatud puuride käitlemist on allapanu. Üheks peamiseks probleemiks on ka allapanule munetud munade eemaldamine koos sõnnikuga (Santonja jt 2017: 44).

Täiustatud puuride mõju toodangule pole suudetud aastate jooksul täpselt välja selgitada. Mõnedes uuringutes on välja toonud, et munatoodang on puurisüsteemis kõrgem kui alternatiivsetes süsteemides (Abrahamsson jt 1996, Tauson jt 1999 ref Ahammed jt 2014: 1200). Puurikanade munades on aga albumiini sisaldus kõrgem kui õrrekanadel ja põrandal peetavate kanade munades. Sööda tarbimine puurikanalas on madalam, kui teistes süsteemides, kuna puurikanade liikumisvõimalus on elutingimuste tõttu piiratud. Piiratud liikumisvõimalus ei taga lindudele aga täielikku heaolu (Ahammed jt 2014: 1200). Täiustatud puuride puhul saab positiivseks lugeda ka vähenenud parasitismi, head hügieeni ja lihtsamat juhtimissüsteemi (The Welfare...2016: 38).

1.1.3. Munakanade pidamine alternatiivsetel meetoditel

Munakanu peetakse ka süsteemides, mida direktiivis 1999/74 EÜ nimetatakse „alternatiivseteks süsteemideks“. Alternatiivsetel meetoditel kasvatatakse kanu põrandal, mis võib olla kombineeritud restpõrandaga. Põrand on tavaliselt valmistatud betoonist, kuid võib kasutada ka muid materjale. Sõnnik koguneb 14 kuulise munemisperioodi jooksul, kas põrandale või restpõranda alla. Sõnniku eemaldamine toimub kanalast, kas skreeperite või lintidega (Santonja jt 2017: 46). Munemisperioodi lõpus restpõrand demonteeritakse ja eemaldatakse sinna alla ladestunud sõnnik. 20. sajandil vahetusid puit-, vörk- ja metallist restpõrandad plastmassist valmistatud restpõrandatega. Plastmassist restpõrandaid on lihtsam eemaldada ja puhastada (Tikk jt 2007: 142). Alternatiivses pidamissüsteemis peavad olema samuti täidetud kõik lindude liigiomase käitumisega seotud nõuded (Santonja jt 2017: 46). Tuleb võimaldada juurdepääs ühele pesale seitsme linu kohta ning arvestada 1 m² pesapinda maksimaalselt 120 linu kohta (RTL 2003, 78, 1146 § 13 lg 1). Tavaliselt peetakse linde suurtes rühmades, kus on 2000–10000 lindu ühe kanala kohta (Santonja jt 2017: 47).

Alternatiivsete süsteemide positiivseks omaduseks on lindude suurem liikumise võimalus, negatiivseks pooleks aga suur peenosakeste ja ammoniaagi emissioon. Peenosakeste teke ja ammoniaagi emissioon tuleneb allapanust ja kanade suurenenud aktiivsusest. Probleemi saab leevendada sõnniku sagedasema eemaldamisega lindlast. Kanalates tuleb tagada piisav õhuvahetus, kas loomuliku- või sundventilatsiooniga (Santonja jt 2017: 47). Miinusteks on ka munade määrdumine ja suurem söödakulu toodanguühiku kohta (Tikk jt 2007: 142).

1.1.4. Munakanade sügavallapanul pidamine

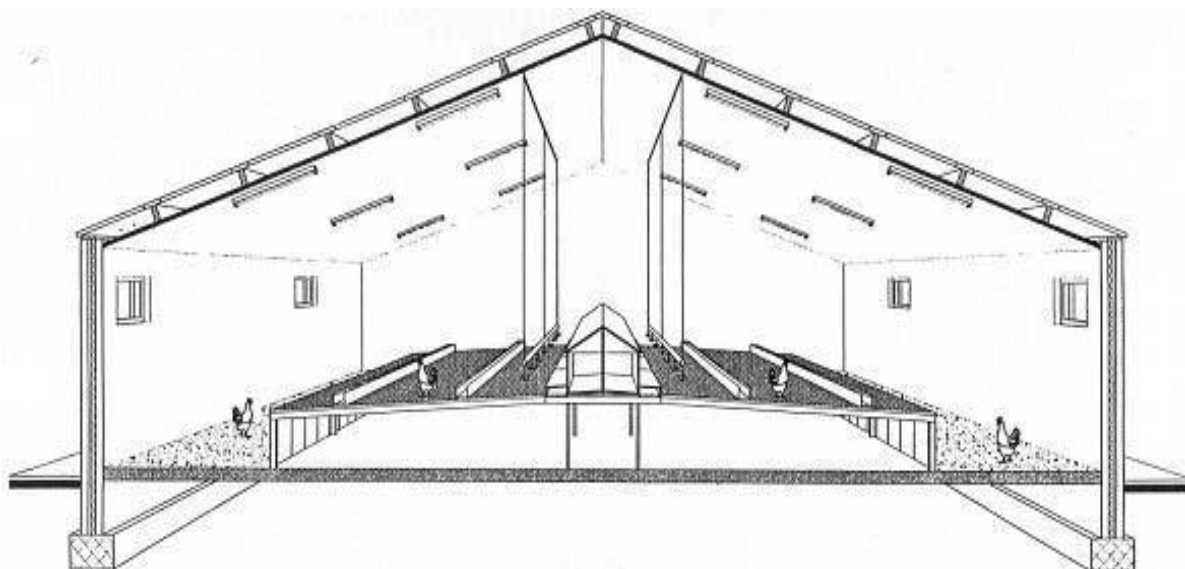
Ühe- või mitmetasandiliste süsteemide korral on põrandapind täielikult või osaliselt kaetud allapanuga. Selline pidamistehnoloogia võeti kasutusele üle 50 aasta tagasi. Seda meetodit on mõningate täiustustega kasutatud peamiselt broilerite kasvatamiseks (Sainsbury 2000: 184). Joonisel 2 on kujutatud ühetasandilise kanala ristlõige. Ühe kana kohta peab olema vähemalt 250 cm² allapanuga pinda. Põrandapinnast vähemalt üks kolmandik tuleb katta allapanuga,

ülejäänud ala võib olla restpõrand (Santonja jt 2017: 47). Restpõranda alla on rajatud sõnnikuhoidla või transportöörlint, millega sõnnikut eemaldatakse. Ventilatsioonimahust vähemalt üks kolmandik tuleb väljatõmbeventilaatorite abil pumbata läbi sõnnikukanali, vältimaks kahjulike gaaside kontsentratsiooni tõusu kanalas (Kaasik 2005: 27). Sügavallapanul on lindude paigutusnormatiiviks 12 kana 1 m² kohta (Tikk jt 2007: 138).

Allapanu tüüp ja kvaliteet on kanade heaolu ja lindla mikrokliima jaoks olulised aspektid. Materjalid, mida võib allapanuks kasutada on:

- liiv või kruus;
- saepuru;
- põhk;
- turvas;
- puitlaastud.

Kuiv allapanu aitab säilitada lindla stabiilset temperatuuri, seevastu märg allapanu põhjustab konduktsiooni ning osa lindla soojusest läheb kaduma allapanu kuivamise käigus (Sainsbury 2000: 19). Liiv ja kruus peavad olema kuivad, graanul tohib olla kuni 8 mm läbimõõduga. Puitlaastud ei tohi olla tolmuised ning keemiliselt töödeldud. Põhk ei tohi samuti eritada liigselt tolmu, vältimaks lindlas kõrget peenosakeste kontsentratsiooni. Allapanu stimuleerib lindude siblimise ja seeläbi ka söömiskäitumist (Thiele, Pottgüter 2008: 55).

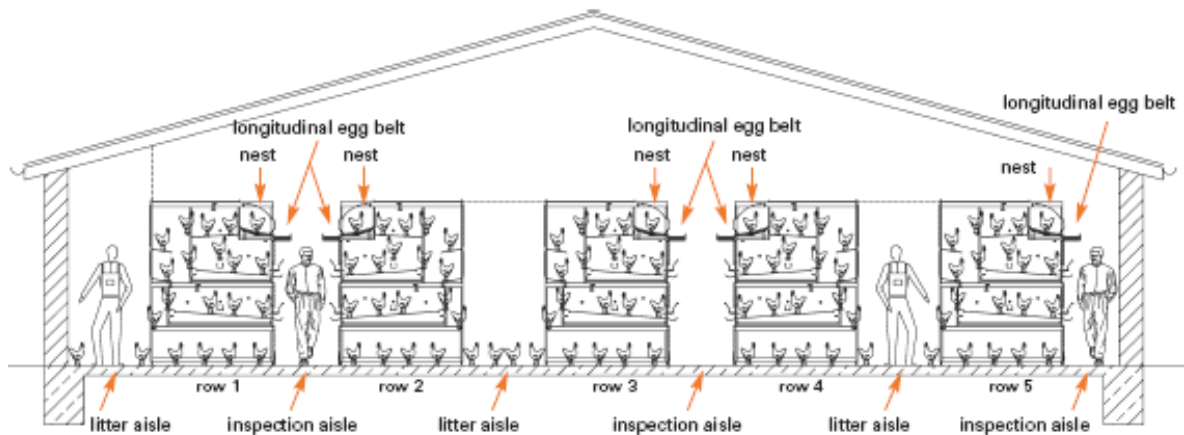


Joonis 2. Ühetasandilise kanala ristlõige (Santonja jt 2017: 48)

Munakanadele tuleb sügavallapanul pidamisel tagada teravate servadeta õrred, kus igale kanale on arvestatud 15 cm ruumi. Õrred ei tohi paikneda allapanu kohal ning kõrvuti asetsevate õrte minimaalne vahe peab olema 30 cm. Seinast tuleb õrs paigaldada vähemalt 20 cm kaugusele (RTL 2003, 78, 1146 § 13 lg 2). Automatiseeritud söötmise ja jootmise vahendid tuleb paigaldada respõrandale. Munade kogumine toimub samuti automatiseeritult individuaal- või rühmapesadest. Sügavallapanul peetavate kanade munad peaksid olema tarbijatele kõige sobivamad, kuna läbi viidud uuringutest selgus, et muna värvus, munakoore tugevus ja munakollase värvus vastas tarbijate erivajadustele (Lewko, Gornowicz 2011: 615). Lindlate valguspäeva pikkus on reguleeritud spetsiaalsete valgusprogrammidega, mis mõjutavad lindude munemise määra (NL technical description ... 2000 ref Santonja jt 2017: 47).

1.1.5. Munakanade pidamine õrrekanalas

Õrrekanala koosneb põranda tasapinnal olevast esimesest korrusest ning ühest või mitmest perforeeritud platvormist. Süsteemis on vähemalt kaks eri kõrgusel tasapinda, mis tagavad lindudele liikumisvõimaluse. Joonisel 3 on kujutatud modernset õrrekanalat, kus on välja toodud lindude ja töötajate liikumiseks ettenähtud alad. Linde peetakse suurtes gruppides ning neil on liikumisvabadus mitmel tasandil (Santonja jt 2017: 48). Tasapindu tohib olla maksimaalselt neli ning kahe erineva tasapinna vahe peab olema vähemalt 45 cm (RTL 2003, 78, 1146 § 15 lg 1). Õrrekanalad ehitatakse soojusisolatsiooniga ja sundventilatsiooniga ning loodusliku või kunstliku valgustusega (Pain, Menzi 2011: 27). Allapanuga kaetakse lindude ala põrand. Mõningate süsteemide puhul on kogu lindla põrand kaetud allapanuga ja linnud saavad liikuda platvormide all. Mõningates süsteemides ei kasutata tasandite alla jäävat ruumi. Iga tasandil asub sõnnikulint, millega takistatakse sõnniku kukkumist alumisele tasemele ning sellega transporditakse sõnnik lindlast välja. Iga korruse põrand on ehitatud väikese kaldega, et munitud munad veereksid põranda äärtesse ning oleksid kriipimise ja plekkide tekke eest kaitstud (Description of... 2006: 15).



Joonis 3. Moderne õrrekanala (Harris 2007)

Õrrekanalates on lindude ala jagatud erinevatesse funktsionaalsetesse piirkondadesse: söötmise, jootmise, magamise, siblimise ja munemise ala. Söötjad ja jootjad tuleb paigutada nii, et oleks tagatud võrdne ligipääs kõikidele kanadele. Individuaal- või rühmapesasid saab paigutada ühele või mitmele reale üksteise peale. Tulenevalt asjaolust, et linnud võivad kasutada mitut tasandit, siis kasulikku pinda tuleb arvestada 1 m² 9 linnu kohta ühel tasapinnal või kuni 18 lindu 1 m² põrandapinna kohta. Õrred on paigutatud kõrgendatud tasapindade juurde. Kõrgematel korrustel on tavaliselt rohkem õrsi ja madalamatel vähem (Santonja jt 2017: 48).

Üleminek täiustamata puurides pidamiselt õrrekanalates pidamisele on parandanud lindude elutingimusi ja heaolu. Läbiviidud uuringutest on selgunud, et õrrekanalas on lindude suremus väiksem kui puuris pidamisel. Õrrekanalas on haiguste kontroll efektiivsem, elutingimused liigile omasemad, kannibalismi tase madalam ja parem tootmise juhtimine tänu põllumajandustootjate teadmiste suurenemisele. Peamiseks probleemiks on punaste lestade ehk *Dermanyssus gallinae*-de sage esinemine kanalas. Punased lestad kahjustavad sulestikku ja põhjustavad lindude suremust. Erinevate tasandite tõttu on õrrekanalat keerulisem desinfitseerida, mis on ka peamiseks punaste lestade esinemise põhjusteks. Vähendamaks ebapiisavast desinfitseerimisest tulenevaid tervise probleeme, vajab õrrekanalate ehituslik pool veel arendamist, kuna ligipääs teatud aladele on raskendatud (Heerkens jt 2015: 2014).

1.2. Lindlate mikrokliima

Kliimafaktoritel on oluline mõju organismi füsioloogiale ja loomade produktiivsusele. Loomakasvatushoonetes peavad mikrokliima parameetrid olema nõuetele vastaval tasemel. Lindla rajamisel tuleb leida parim lahendus hoone soojustamiseks ning sellele vastavad ventilatsiooni-, söötmise jms süsteemide tehnoloogilised lahendused (Šottnik 2005: 1). Linnud on ümbritseva keskkonna suhtes tundlikud, mistõttu vajavad nad stabiilset elukeskkonda, mille mikrokliima vastaks lindudele ettenähtud standarditele. Kanalate mikrokliima parameetritest on olulisemad:

- õhutemperatuur ja -niiskus;
- õhu liikumise kiirus lindude tasapinnal;
- õhu keemiline koostis;
- müra;
- valguse intensiivsus;
- peenosakeste kontsentratsioon.

Lindude asustustihedus, hoone soojustus ja ventilatsioonisüsteem on ühed enim mikrokliima näitajaid mõjutavad tegurid (Santonja jt 2017: 56).

Siseneva õhuga reguleeritakse lindla õhu temperatuuri ja -niiskust, gaasilist koostist ning peenosakeste sisaldust (Loyon jt 2010 ref Santonja jt 2017: 56). Lindlatele on kehtestatud kindlad sisekliima nõuded (Santonja jt 2017: 56). Mikrokliima põhinõuded võivad sõltuvalt linnuliigist, vanusest, pidamisviisist, sugupoolest ja produktiivsuse tasemest erineda (Tikk jt 2007: 126).

1.2.1. Temperatuur

Sügavallapanul pidamisel peaks lindla temperatuurivahemik jääma 12...22 °C piiresse, seejuures optimaalseks peetakse 12...18 °C. Puurikanalas on lindudele sobivaim temperatuur 16...22 °C (Tikk jt 2007: 128). Intensiivselt peetavate lindude optimaalseks temperatuuriks loetakse 21 °C (Sainsbury 2000: 47). Kanad on kohanemisvõimelised linnud ja tolerantset keskkonnamuutustele, see võimaldab toota ökonoomselt isegi siis, kui temperatuur kanalas

pole optimaalsel tasemel. Varieeruvus kanalas võib olla 5–24 °C. Temperatuuri kiire kõikumine madalalt temperatuurilt kõrgele ja vastupidi pole aga soovitatav, kuna linnud tunnetavad suuri temperatuuri kõikumisi. Lühiajaliseks variatsiooniks ööpäevas on lubatud kuni 6 °C (*Ibid*: 48).

Kanala õhutemperatuuri pikemaajaline tõus üle 24 °C mõjutab negatiivselt munatoodangut, selle massi ja kvaliteeti (Tikk jt 2007: 128). Kõrge temperatuur on seotud ka munakoore paksusega. Munakoore paksus väheneb kõrge temperatuuri korral, madalamal temperatuuril pole muutusi munakoore paksuses leitud (Oarad jt 1981; Sloan, Harms 1984 ref Talukder 2010: 254). Kõrge temperatuur mõjutab toitainete imendumist seedetraktis, albumiini sekretsiooni munajuhas ning lipoproteiidide sünteesi maksas. Üle 21 °C õhutemperatuuri korral hakkab tõusma lindude veetarve. Suurenenud veetarbimine peaks olema linnukasvatajale märk vales õhutemperatuurist lindlas (Tikk jt 2007: 128). Temperatuuri tõusuga langeb ka lindude söömus. Lindude söömust saab tõsta ratsiooni kvaliteeti parandades, söötes lindudele kvaliteetsemaid söötasid. Kvaliteetsema sööda söötmine aitab ära hoida temperatuurist tingitud munatoodangu langust. Lindude söömus suureneb 5 °C madalamal temperatuuril ja seeläbi tõuseb ka muna mass ja kvaliteet. Kanalate temperatuur on reguleeritud hoone soojusisolatsiooni ja ventilatsioonisüsteemi abil (Sainsbury 2000: 48).

1.2.2 Õhuniiskus

Õhu soojusmahutavus ja -juhtivus suureneb õhuniiskuse tõusmisel. Optimaalne õhuniiskus munakanade lindlas on 60–70% (Tikk jt 2007: 128). Talvel võib õhuniiskus olla maksimaalselt 75%. Arvatakse, et madal õhuniiskus ei tohiks probleeme tekitada, kuid see ei ole tõsi, kuna ka linnud haigestuvad hingamisteede haigustesse. Haigestumine toimub juba 50% õhuniiskuse juures, 30% juures võib infektsioon veelgi süveneda ja aidata kaasa nakkuse levikule lindlas. Nakkushaiguste tekitajad püsivad kuivas ja tolmuses õhus pikema aja jooksul elujõulisena, seepärast soovitatakse suvel ventilatsiooni mahtusid suurendada. Kuigi see ei aita õhku niisutada, võimaldab see tolmukontsentratsiooni vähendamise kaudu probleemi leevendada (Sainsbury 2000: 49).

Muutused õhu niiskusesisalduses avaldavad mõju lindude söömusele ja munatoodangule. Õhuniiskuse muutuste korral toimuvad teatud muudatused munatoodangus, muna massis ja lindude toitumises. Tabelis 1 on näidatud, kuidas munatoodang suurenes, kui suhteline niiskus oli 60–70% ja sööda tarbimine ning muna mass järk-järgult vähenesid üle 70% suhtelise õhuniiskuse korral. Munakoore paksust suhteline õhuniiskus aga ei mõjutanud (Talukder jt 2010: 255).

Kõrge suhtelise õhuniiskuse korral on tavaliselt ka ammoniaagi ja süsinikdioksiidi kontsentratsioonid kõrgemad, madala õhuniiskuse puhul aga madalamad. On võimalik, et kõrge süsinikdioksiidi, ammoniaagi ja suhtelise õhuniiskuse kombinatsioon võib olla lindudele kahjulikum, kui ainult ühe nimetatud näitaja märgatav tõus kanalas (Czarick, Fairchild 2012).

Tabel 1. Niiskuse mõju munakanade jõudlusele (Talukder jt 2010: 255)

Suhteline õhuniiskus, %	Munatoodang, %	Muna mass, g	Munakoore paksus, mm	Sööda tarbimine kana kohta päevas, g
78	76,05±0,11	55±0,14	0,34±0,007	118±1,1
76	75,25±0,14	55±1,51	0,33±0,008	119±0,43
72	76,98±0,34	56±0,28	0,34±0,01	119±0,21
68	76,1±0,07	57±0,18	0,34±0,01	121±0,53
64	77±1,07	58±0,24	0,37±0,02	121±0,63
60	77,1±0,45	58±0,39	0,34±0,01	120±1,19
58	76,33±0,14	57±0,22	0,33±0,03	121±1,21
54	76,15±0,24	58±0,25	0,33±0,01	120±0,64
St.	0,86	0,45	0,001	0,40
Olulisuse tase	*	-	-	-

* $p < 0,05$; - näitab olulisuse puudumist

1.2.3 Süsihappegaas ehk süsinikdioksiid

Süsihappegaasi ehk CO₂ peamiseks allikateks lindlas on lindude hingamine ja väljaheidete orgaanilise aine lagunemine ning küttesüsteemid (Knížatová jt 2010 ref Brouček, Čermák 2015: 94). Õhu puhtust iseloomustavaks gaasiks peetakse lindlas just süsihappegaasi. Kõrge süsihappegaasi kontsentratsioon ärritab lindude nahka ja limaskesti. Muudatused toimuvad ka

linnu organismis, tuues kaasa oksüdeerumisprotsesside halvenemise, luustumisprotsesside aktiivsuse languse ja atsidoosi tekke. Lindlate õhus ei tohi süsinikdioksiidi tase olla kõrgem kui 0,2%. Kui õhus on 0,3–0,5% süsihappegaasi, siis tõuseb lindude venoosse vere CO₂ sisaldus 2–3% ja ainevahetuse intensiivsus langeb 20% võrra. See toob kaasa lindude immuunsüsteemi nõrgenemise (Tikk jt 2007: 129). Süsihappegaasi kontsentratsiooni tõus lindlas toob kaasa munatoodangu languse ning söödavääringuse halvenemise (Kocaman jt 2006: 29). Lisaks on leitud, et kõrge CO₂ sisaldus mõjutab muna massi, kuid mitte munakoore paksust (Talukder jt 2010: 255).

1.2.4. Ammoniaak

Lindlate õhu üheks peamiseks saasteaineks on NH₃ ehk ammoniaak. Kodulindude roe sisaldab 60–65% kusihapet, 10% ammooniumisoolasid ja 2–3% karbamiidi ning kreatiini jääke (Brouček, Čermák 2015: 90). Ammoniaak tekib põhiliselt kusihaape mikrobiaalsel lagundamisel lindude väljaheites. Ammoniaagi emissioon on ohtlik ka väliskeskkonna aspektist, kuna see aitab kaasa mulla hapestumisele ja suurendab lämmastiku kandumist ökosüsteemidesse. Ammoniaagi sisaldust õhus saab vähendada sõnniku kiire eemaldamisega lindlast või sõnniku kuivatamisega, takistamaks lämmastikühendite mikrobioloogilist lagunemist. Juhul kui sõnnikut ei eemaldata, suureneb ammoniaagi sisaldus lindla õhus 30–40% päevas (Fabbri jt 2007: 449). Vastavalt direktiivile 2007/43/EÜ ei tohi ammoniaagi kontsentratsioon lindla õhus ületada 20 ppm-i (Nõukogu direktiiv 2007/43/EÜ, lisa II, lg 3). Suurbritannias on broilerite pidamisel ammoniaagi piirmääraks kehtestatud 15 ppm-i (Santonja jt 2017: 182).

Ammoniaagi kontsentratsiooni tõus lindlas toob kaasa toodangu vähenemise ja organismi resistentsuse languse. Kui lindlas on ammoniaagi kontsentratsioon suurem kui 0,05 mg/l võib see esile kutsuda hingamiselundite paralüüsi ja lindude surma. Kümnapäevane munakanade viibimine kanalas, kus ammoniaagi kontsentratsioon oli 0,076 mg/l, vähendas kanade kehamassi 113 grammi ja munemisintensiivsust 12% (Tikk jt 2007: 129). Ammoniaagil on võime difundeeruda läbi rakuseina. Rakus võib kõrge NH₃-sisaldus tuua kaasa

glükolüüsi, mis põhjustab laktaadi kuhjumist. Laktaadi kuhjumine põhjustab aga pidevat erutus seisundit ja maksakahjustusi. Ammoniaagi üheks omaduseks on hea vees lahustumine. Seetõttu adsorbeerub ammoniaak silmade ja ülemiste hingamisteede limaskestadel ning tekitab nende ärritust ja põletikku. Vere hemoglobiiniga ühineb ammoniaak kopsualveoolide kaudu, tuues kaasa gaasivahetuse halvenemise organismis ja aneemia tekke (Kender jt 1998: 1).

1.2.5. Metaan

Metaan on antropogeense tekkega gaaside seas globaalse soojenemise üks peamine põhjustaja. Mäletsejaliste eesmaos tekib mikroobide elutegevuse tulemusena sööda anaeroobse fermenteerimise käigus kõrvalsaadusena metaan ehk CH_4 (Wu-Haan 2006: 11). Metaan moodustub anaeroobse keskkonnas ka sõnniku orgaanilise aine mikrobiaalsel lagunemisel. Oluliselt mõjutavad metaani teket pidamise- ja sõnnikukäitlemise tehnoloogia ning ventilatsioonimäär (Oier jt 2013: 22). Kodulinnud on monogastrilised ehk lihtmaolised organismid, mistõttu toodavad nad metaani seedeprotsesside käigus väga vähestes kogustes. Uuringutes on leitud, et keskmiselt tekib kana organismis 13 mg metaani päevas ning lindlas ühe linna kohta 60 päeva jooksul 0,8 kg (Brouček, Čermák 2015: 93).

1.2.6. Divesiniksulfiid

Divesiniksulfiid on väga toksiline gaas, mille esinemine õhus on ohtlik nii inimestele kui ka loomadele. Divesiniksulfiid ehk H_2S moodustub anaeroobsetes tingimustes mikroobide elutegevuse tulemusena sõnniku väävlit sisaldavate ühendite lagunemisel (sulfaadi redutseerumine) (Casey jt 2006: 19). Emissiooni suurendab kõrge temperatuur, sõnniku pikk säilitamine lindlas, happeline keskkond ning kõrge õhuniiskuse sisaldus (Kaasik, Maasikmets 2014: 71). H_2S on värvitu, õhust raskem, vees väga hästi lahustuv ja iseloomuliku mädamuna lõhnaga gaas. Kuigi kõrgete divesiniksulfiidi kontsentratsioonidega kaasnevad suured

terviseriskid, on H_2S kontsentratsioonid lindlates tavaliselt väga madalad võrreldes ammoniaagi ja süsihappegaasi kontsentratsioonidega (Casey jt 2006: 19).

Divesiniksulfiid ühineb kudedes aluselist ühenditega, mille käigus tekib naatriumsulfiid. Naatriumsulfiid tekitab organismis kudede ärritust. Verre sattumisel divesiniksulfiid ühineb hemoglobiini rauaga, mille tagajärjel hemoglobiin ei seo enam hapniku, mistõttu organismis tekib hapniku defitsiit. Lindude pikaajaline viibimine divesiniksulfiidi sisaldavas keskkonnas põhjustab hingamis- ja vereringeelundite töö häirumist, suurendab energiakulu toitainete omastamisel ja muudab lindude organismi haigustele vastuvõtlikumaks. Divesiniksulfiidi maksimaalne lubatud kontsentratsioon lindlate õhus on 0,005 mg/l (Tikk jt 2007: 130).

1.2.7 Dilämmastikoksiid

Lämmastikoksiidide hulgast seostub dilämmastikoksiid just loomakasvatusega. Dilämmastikoksiid on väga tugev kasvuhoonegaas, millel on 310 korda suurem mõju globaalsele soojenemisele kui süsinikdioksiidil. N_2O ehk dilämmastikoksiidi poolestusaeg atmosfääris on väga pikk. Atmosfääris muundatakse N_2O lämmastikoksiidiks (NO). See lagundab stratosfääris osooni, mis kaitseb Maad kahjuliku ultraviolettkiirguse eest. Dilämmastikoksiidi tekib ka mineraal ja orgaaniliste väetise kasutamisel taimekasvatustes (Brouček, Čermák 2015: 93). Eraldumine muldadest ja ka sõnnikust toimub denitrifikatsiooni või nitrifikatsiooni tulemusena. Arvatakse, et emissiooni põhjustab peamiselt denitrifikatsioon, kuid aeroobsetes tingimustes on valitsev siiski nitrifikatsioon (Hefting jt 2003 ref Metsaoru 2013: 6).

Linnukasvatus on dilämmastikoksiidi emissiooniga seotud sõnnikumajanduse kaudu. Arvatakse, et linnukasvatus annab hinnanguliselt 3 protsenti N_2O emissioonist (Gerber jt 2008: 18). N_2O emissioone on raske mõõta, kuna kontsentratsioonid on väga madalad. Lindlas mõjutab dilämmastikoksiidi teket sõnniku eemaldamise sagedus ja sõnniku kuivainesisaldus (Brouček 2017: 469). Saksamaal läbi viidud uuringutest on selgunud, et N_2O heitkogus on hinnanguliselt 0,006 kg sügavallapanul peetava linu kohta, kui automaatne sõnniku eemaldamise süsteem puudub. Sagedane sõnniku eemaldamine lindlas aitab vähendada N_2O

teket ja levikut (Santonja jt 2017: 312). Kuna N₂O kontsentratsioon lindlates on väga madal, siis otsene mõju lindude tervisele puudub.

1.2.8. Peenosakesed

Lindlate õhus olevad peenosakesed on nii anorgaanilise kui ka orgaanilise päritoluga. Anorgaanilised peenosakesed võivad pärineda ehitusmaterjalides, nagu näiteks betoon ja metallkonstruktsioonid või ka mullast ning liivast, mida tuuakse kanalasse ventilatsioonisüsteemi kaudu. Orgaaniliste peenosakeste allikaks on suled, nahaosakesed, söödakomponendid, kuivanud väljaheited, hallitusseened, bakterid ja bakteriaalsed endotoksiinid ning viirused. Peenosakeste koostises on identifitseeritud näiteks järgmised mikroorganismide perekonnad: *Bacillus*, *Clostridia*, *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* ja *E. coli*; ning seente puhul on levinumad: *Cladosporium*, *Penicillium* ja *Aspergillus*. Broilerite lindlates läbiviidud uuringutes on leitud, et peenosakestes on kõige levinum keemiline element kaltsium, kuid esines ka magneesiumi, vaske, rauda, pliid ja tsinki (David jt 2015: 498).

Peenosakesed erinevad suuruse ja kuju poolest ning neid grupeeritakse vastavalt suurusele. Osakeste suurus on oluline teadmaks, kaugele võivad peenosakesed hingamissüsteemis tungida. Nina ja neelupiirkonnas ladestuvad peenosakesed, mis on suuremad kui 15 µm. Trahheasse võivad siseneda osakesed, mille aerodünaamiline läbimõõt on väikesem kui 15 µm ning alveoolideni pääsevad osakesed läbimõõduga < 7 µm. Peenosakeste fraktsiooni, mille aerodünaamiline läbimõõt on väiksem kui 5 µm, nimetatakse ka respiratoorseks fraktsiooniks kuna need on võimelised tungima organismis alveoolideni (Bouquin jt 2013: 2827).

Peenosakeste mõju lindudele tervisele ja heaolule on otsene või kaudne. Peenosakesed võivad kanalas olla patogeenide levitajad (David jt 2015: 496). Pidev kõrge peenosakeste kontsentratsiooniga keskkonnas viibimine vähendab loomade jõudlust ja võib kahjustada inimeste tervist. Hingamishaiguste esinemissagedus on lindlate personalil suurem, kui teistel põllumajandusloomadega tegelevatel inimestel (Bouquin jt 2013: 2827). Paljud orgaanilised peenosakesed on antigeensed ja võivad aktiveerida nii kaasasündinud kui ka adaptiivset

immuunsüsteemi. Antigeensus võib põhjustada avatud piirkondades põletikku, näiteks haava või silmade piirkonnas. Orgaaniliste peenosakeste kokkupuutumine võib põhjustada ka kopsude sensibiliseerumist, ülitundlikkusreaktsioone ja hingamisteede haigusi (David jt 2015: 503). Lindlates on peenosakeste kontsentratsiooni piirmääraks talvekuudel 3 mg/m^3 ja suvekuudel kuni 5 mg/m^3 (Tikk jt 2007: 130).

Lindlate õhu peenosakeste sisaldus sõltub pidamisviisist, linnuliigist, ventilatsioonmahust, õhuniiskusest, allapanu omadustest, ning lindude paigutustihedusest ja vanuselisest koosseisust (*Ibid*: 130). Kanalate tüübil on peenosakeste sisaldusele väga suur mõju. Mitmed uuringud on näidanud, et peenosakeste kontsentratsioon on kõrgeim õrrekanalas, puurikanalas madalaim ning lindude põrandalpidamine jääb eelnevalt nimetatud pidamisviiside vahele (Bouquin jt 2013: 2830). Prantsusmaal läbi viidud uuringus selgus, et põrandal pidamisel oli keskmine peenosakeste kontsentratsioon $0,37 \text{ mg/m}^3$, täiustamata puuridega kanalas $0,13 \text{ mg/m}^3$, täiustatud puuridega kanalas $0,15 \text{ mg/m}^3$ ning õrrekanalas vastavalt $1,19 \text{ mg/m}^3$. Tulemused näitavad, et peenosakeste sisaldus sõltub munakanade pidamisviisist (*Ibid*: 2832). PM10 fraktsiooni peenosakeste heitkogused sõnniku eemaldamisel lintsüsteemiga varustatud kanalas võivad olla kuni 0,240 kilogrammi linna kohta aastas (Santonja jt 2017: 312). Süsteemides, kus kanadel on parem ligipääs allapanule on püsivalt suurem ka peenosakeste kontsentratsioon (David jt 2015: 502).

1.3. Ventilatsiooni mõju mikrokliimale

Optimaalse õhu koostise lindlas tagab ventilatsiooni süsteem. Ventilatsiooni korraldamine ja juhtimine on linnukasvatases üks olulisemaid küsimusi. Ventilatsiooni eesmärgiks on tagada õhu vahetus, s.t. värske õhu tagamine ning kahjulike gaaside, liigse soojuse ja niiskuse eemaldamine lindla õhust (Tikk jt 2007: 130). Lindlates võib kasutada nii loomulikku- kui ka sundventilatsiooni või mõlema kombinatsiooni. Intensiivse linnukasvatuse korral kasutatakse tavaliselt sundventilatsiooni.

Loomuliku ventilatsiooni korral toimub õhuvahetus sise- ja välistemperatuuride erinevuse ning tuule toimele tekkinud rõhkude vahe tõttu, läbi ehitise lekkekohtade ja avade.

Tehnoloogilisest lahendusest lähtuvalt jaguneb loomulik ventilatsioon, šaht- ja põikventilatsiooniks. Ruumi õhutamine ja tuulutamine on võimalik ka akende ja uste kaudu. Minimaalne õhu sisse- ja väljapääsuavade pindala peab olema vähemalt $2,5 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ loomapidamishoone mahu kohta ning avad peavad asetsema hoone mõlemal küljel. Loomuliku ventilatsioonisüsteemi kasutamisel on eriti oluline hoone õige konstruktsioon (Santonja jt 2017: 58).

Sund- ehk mehaaniline ventilatsioon koosneb sageli sissepuhke- ja väljatõmbesüsteemist. Sissepuhkesüsteemid paigutatakse ventilatsioonikambrisse, mis asetseb tavaliselt ehitise esimesel või keldrikorrusel. Väljatõmbesüsteemi kambrid asuvad hoone katusel, pööningul või hoone kõige kõrgemal korrusel. Õhuhaardeavad peavad paiknema maapinnast vähemalt 2 m kõrgusel. Hoone ehitusel on oluline paigutada väljapuhkeavad haardeavadest kõrgemale. Kui haare ja väljapuhe asuvad katusel, tuleb paigutada väljapuhe haardeavast 2,5 m kõrgemale (Angelstok 2006: 43). Avade paigutuse kõrval on oluline jälgida ka ehitise mõõtmeid, kui lindla kubatuur on suurem kui planeeritav ventilatsioonisüsteemi võimsus, siis võib õhuvahetus jääda ebapiisavaks. Mehaanilised ventilatsioonisüsteemid on oluliselt kallimad kui loomuliku ventilatsiooni kasutamine, kuid sisekliima kontroll ja juhtimine on lihtsam ning täpsem (Santonja jt 2017: 59).

Võrreldes põllumajandusloomadega vajavad linnud kehamassiühiku kohta 2,5–3 korda rohkem õhku. Ühe kilogrammi kehamassi kohta kasutab kana 738 ml hapniku, väljutades sama aja jooksul 714 ml süsihappegaasi (Tikk jt 2007: 131). Tabelis 2 on välja toodud allapanul ja puurikanalas peetavate lindude õhuvahetusnormid 1 kg kehamassi kohta. Puuris peetavate kanade puhta õhu vajadus on väiksem, kui allapanul peetavatel kanadel. Näiteks talvekuudel on puurikanala lindude õhutarve $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ välistemperatuuri juures $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ 1 kg kehamassi kohta, allapanul peetavatel kanadel vastavalt $2,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Linnud on eriti tundlikud hapnikuvaeguse suhtes. Kui hapniku kontsentratsioon õhus langeb 1–2% võrra, võib see põhjustada lindude lämbumise. Kanalas on oluline jälgida ka õhu liikumise kiirust, kuna tuuletõmbus mõjutab lindude tervist. Talvel on maksimaalne lubatav õhu liikumise kiirus kanalas 0,6 m/sek ning optimaalne 0,3 m/sek, suvel vastavalt 1,2 m/sek (*Ibid*: 132).

Tabel 2. Lindlate õhuvahetusnormid lindude 1 kg kehamassi kohta, m³/h (Tikk jt 2007: 132)

Talvine keskmine välis-temperatuur °C	Aasta-aeg	Puhta õhu vajadus lindlas m ³ /h lindude 1 kg kehamassi kohta					
		munakanad		kanabroilerid, vanus päevades			
		allapanul	puurides	10	30	60	180
-10	Talv	2,1	1,8	1,1	1,1	1,4	1,5
	Kevad, sügis	5,3	3,8	2,9	1,9	4,6	4,3
	Suvi	5,9	5,0	17,0	9,2	7,7	6,8
-15	Talv	1,8	1,6	1,1	1,1	1,3	1,4
	Kevad, sügis	5,3	3,8	2,8	1,9	4,6	4,3
	Suvi	5,9	4,9	14,0	9,2	7,9	6,5
-20	Talv	1,7	1,3	1,1	1,1	1,3	1,3
	Kevad, sügis	5,0	3,8	2,4	1,7	4,6	4,3
	Suvi	5,9	4,9	14,0	9,1	6,6	6,4

1.4. Sõnnikukoristussüsteemide seos mikrokliimaga

1.4.1. Sõnniku eemaldamine puurikanalast

Lindude täiustatud puurides pidamisel on saasteainete heitkoguste vähendamise eesmärgil sõnniku eemaldamiseks lindlast sageli kasutusel transportöörilindid. Transportöörilintidega saab eemaldada nii kuivatatud kui ka kuivatamata väljaheidet. Kuivatamata väljaheidet eemaldatakse lindlast vähemalt 2 korda päevas. Kuivatamata väljaheite eemaldamisel lindlast saadakse 15–20% kuivainesisaldusega sõnnik (Kaasik 2005: 58). Sõnniku kuivatamiseks transportöörilindil on kaks erinevat lahendust:

- Kuivatamine õhujoaga: puuride korruste vahele on paigutatud transportöörilindid, mille kohal on perforeeritud torustik. Torustiku kaudu suunatakse õhujoad sõnnikulindile, mis aitavad kaasa sõnniku kuivamisele ning takistavad sõnnikus toimuvaid keemilisi protsesse. Antud meetodi rakendamisel eemaldatakse lindlast sõnnikut kord nädalas kinnisesse hoidlasse.

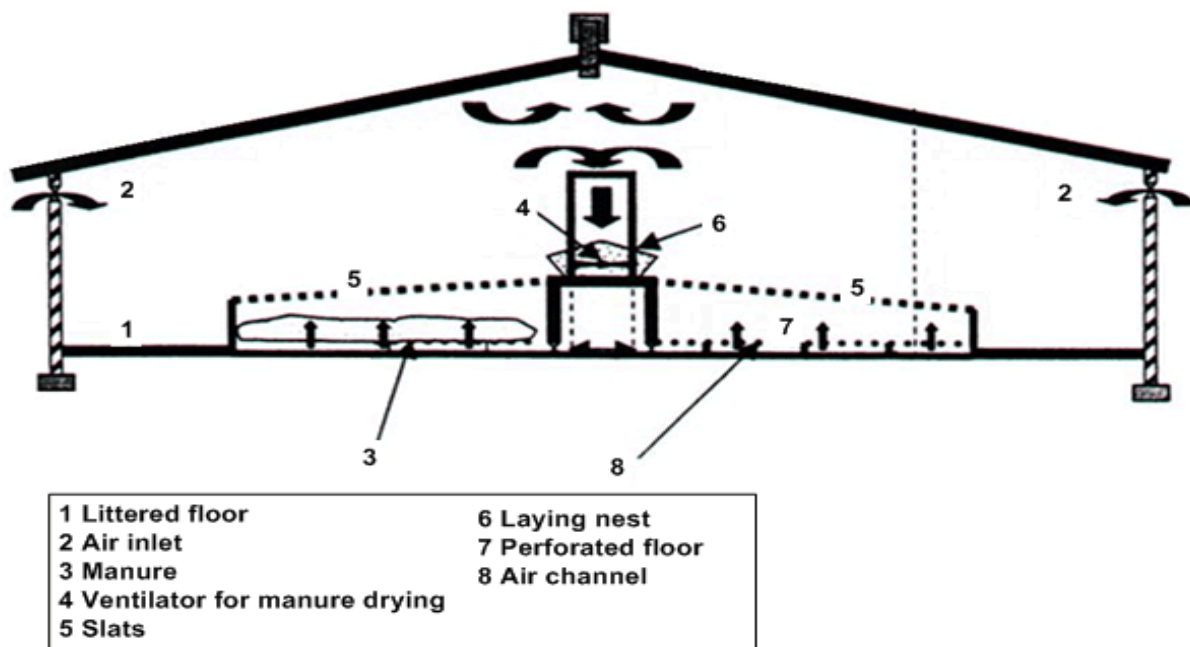
- Sõnniku kuivatamine puuripatareide kohal asetsevates tunnelites: sõnnik kogutakse puuride vahelt rea ühte otsa ja viiakse puuride kohal paiknevatesse tunnelitesse. Tunnelis toimub kuivamine ning kuiv sõnnik toimetatakse kinnisesse hoidlasse. Kuivatustunnelis liiguvad transportörlindid pidevalt ning teevad 24–36 tunni jooksul täistsükli. Kuivatamine toimub tunnelis ventilaatorite abil tekkiva õhu liikumise toimele, vajalik õhk võetakse lindlast kuivatustunneli otstest (*Ibid*: 59).

Lindlates kasutatakse sõnniku eemaldamiseks ka skreepereid, mis asuvad puuride all ja eemaldavad sõnniku vastavalt vajadusele hoidlasse (*Ibid*: 58).

1.4.2. Sõnniku eemaldamine sügavallapanuga lindlast

Sõnniku eemaldamiseks sügavallapanuga lindlast on mitu erinevat võimalust. Sügavallapanuga kanalast eemaldatakse sõnnikut sageli transportööri või kraabiga, üks kord nädalas kuivatatud sõnniku või kaks korda nädalas kuivatamata sõnniku korral (PVT-järeldused kodulindude... 2017: 277). Sõnniku kuivatamiseks sügavallapanu korral on kaks võimalust:

- Õhutorustikud restpõranda all – restpõranda alla on paigutatud perforeeritud õhutorustik, mis puhub õhku üle restpõranda alla kogunenud sõnniku. Läbi torude puhutakse $1,2 \text{ m}^3$ 17–20 °C temperatuuriga õhku linna kohta tunnis (Santonja jt 2017: 314);
- Perforeeritud plaadid restpõranda all – sügavallapanu ja restiga kaetud põranda pinna suhe kanalas peab olema 30:70. Restiga kaetud põranda pind peab olema piisavalt suur sõnniku ladustamiseks ja kuivatamiseks. Restpõranda alla paigaldatakse perforeeritud plaadid. Plaatide ja restpõranda vahele peab jääma vähemalt 80 cm. Joonisel 4 on kujutatud sügavallapanu ja restpõrandaga lindla ristlõige. Avade pinda perforeeritud plaatides peab olema vähemalt 20% kogupindalast (*Ibid*: 315).



Joonis 4. Sügavallapanu ja restpõrandaga lindla ristlõige (NL technical description...2000 ref Santonja jt 2017: 316).

Linde on võimalik pidada ka periooditi koristataval allapanul. Peamiselt kasutatakse taolist pidamisviisi broilerite kasvatamiseks (Tikk jt 2007: 136). Saastunud allapanu eemaldatakse üleskasvatamisperioodi lõpus kui lindla on lindudest tühi. Hoonesse on rajatud sundventilatsioon, et tagada lindudele sobiv mikrokliima (Kaasik 2005: 27). Allapanus toimuvad mikrobioloogilised protsessid üleskasvatamiseperioodil aitavad kaasa soojuse tekkele, mis aitab säilitada lindla optimaalset temperatuuri, eriti sügisel ja talvel. Peenosakeste (tolmu) tekke vältimiseks tuleb lindlas kasutada optimaalse niiskusesisaldusega allapanu (Tikk jt 2007: 137).

1.4.3. Sõnniku eemaldamine õrrekanalast

Õrrekanalas kasutatakse sõnniku eemaldamiseks enamasti sõnnikutransportööre. Transportöörid on paigaldatud erinevatel kõrgustel paiknevate platvormide vahele, et vältida sõnniku kukkumist ülemistelt platvormidelt alumistele. Õrrekanalas on võimalik samuti rakendada sõnniku kuivatamise tehnoloogiat. Sõnniku kuivatamise eesmärgil suurendatakse

ventilatsioonimahtu 0,2 m³ võrra ühe linnu kohta tunnis. Lindlates, kus kuivatamist ei kasutata eemaldatakse sõnnikut kaks korda, kuivatamise korral aga üks kord nädalas. Kuivatamise korral on sõnniku kuivaine sisaldus umbes 55%. Platvormide all asuva restpõranda alt eemaldatakse sõnnikut iga kolme kuu tagant või munemistsükli lõpus (Santonja jt 2017: 317). Nimetatud pidamistehnoloogiaga lindlates on ammoniaagi emisioon kuivatamata sõnniku korral 70–85% ning kuivatamise korral isegi 80–95% väiksem võrreldes klassikalisel sügavallapanul lindude pidamisega (*Ibid*: 318).

Õrrekanalas on restpõrandate alla ehitatud 70 cm sügavused sõnnikuhoidlad, mis peavad vajadusel säilitama 13–15 kuu pikkuse munemisperioodi sõnniku. Restpõranda alla koguneva sõnniku kuivatamiseks kasutatakse ventilaatoreid, mis suunavad õhkjoa sõnnikule. Kuivatamise tulemusena väheneb sõnniku niiskusesisaldus kiiresti. Selle eesmärgiks on sõnnikus sisalduva kusi- ja karbamiidi ammoniaagiks lagunemise vähendamine ja peatamine. Kuivatamise korral on sõnniku kuivaine sisaldus restpõranda all olevas sõnnikuhoidlas kuni 80% (*Ibid*: 322).

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Farmi kirjeldus

Mikrokliima näitajate mõõtmised viidi läbi neljal perioodil vahemikus 23.02.2017–16.12.2017 Valgamaal Linnu Talu OÜ-s . Ettevõttes kasvatatakse Hy-Line Brown ja Hy-Line White tõugu munakanu. Ettevõttel on kolm puuri- ja üks õrrekanala ning ka tibude kasvatamiseks mõeldud hoone. Puurikanalates kasutatakse lindude heaolu parandamise eesmärgil täiustatud puure. Ühes puurikanalas on kasulikku pinda kokku 1782 m². Puurikanalasse mahub aga maksimaalselt 23 760 kana. Õrrekanalas saavad linnud liikuda eri tasapindade vahel ning osal põrandast. Lindlas on neli kolmetasandilist blokki ning igas blokis neli eraldatud sektsiooni. Kasulikku pinda on 2048 m², mis mahutab maksimaalselt 18 622 lindu.

Puuri-ja õrrekanala lindude söötmiseks on ettevõttel üks ratsioon. Lindude söötmine toimub 2 korda päevas, hommikul kell viis ja pärastlõunal kell kaks. Tabelis 3 on esitatud söödaratsiooni protsentuaalne koostis.

Tabel 3. Söödaratsiooni koostis

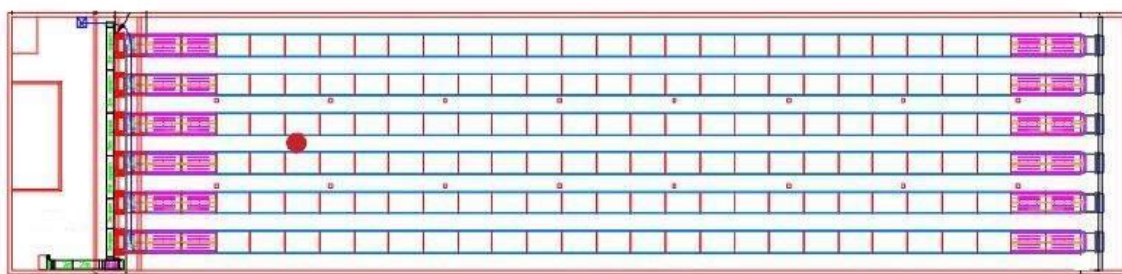
Oder	29,0%
Nisu	28,5%
Sojasrott	19,0%
Kriit	8,5%
Hernes	7,0%
Päevalill	4,0%
Premix	2,5%
Rapsiõli	1,5%

Sõnniku eemaldamine mõlemast kanalast toimub transportöörlintide ja tigudega. Sõnnikut eemaldatakse kanalatest kord päevas, tavaliselt hommikul kell seitse. Sõnniku kuivatamise süsteemi lindlates ei kasutata. Õrrekanalas kasutatakse ka allapanu, mida laotatakse enne

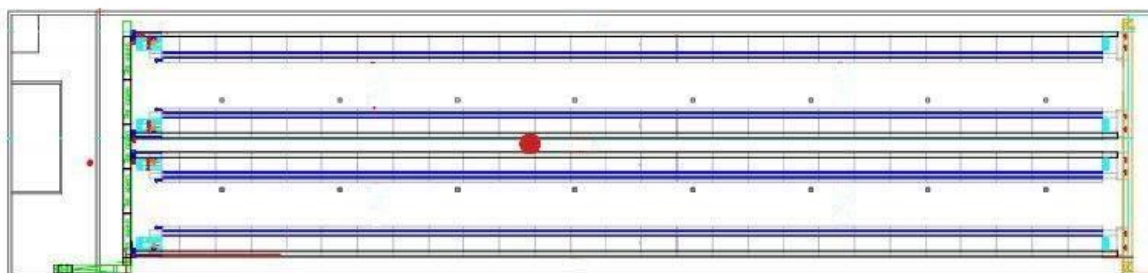
lindude sisse toomist, lindude munemisperioodi jooksul allapanu ei lisata. Allapanuks kasutatakse põhku.

2.2. Andmete kogumine

Mõõtmised kanalates olid sesoonsed, igal aastaajal oli mõlemas kanalas kaks 24 tunnist tsüklit. Õrrekanalas mõõdeti mikrokliima parameetreid 2,6 ning puurikanalas 2,9 meetri kõrgusel põrandapinnast. Joonisel 5 on ringiga märgitud mõõtekoht puurikanalas ning joonisel 6 õrrekanalas. Mõõtekohad valiti selliselt, et kogutavad näitajad iseloomustaksid võimalikult täpselt kogu lindla mikrokliimat (väljatõmbe ventilaatori all), poleks lindudele kättesaadavad ega segaks personali igapäevast tööd.



Joonis 5. Puurikanala üldplaan



Joonis 6. Õrrekanala üldplaan

Lindlate mikrokliimaparametritest mõõdeti digitaalse termo- ja hügrologeri *rotronic HygroLogi* abil temperatuuri ja õhuniiskust, portatiivse aerosool-spektromeeteri *Grimm 1.108*-ga peenosakesi ehk tolmu ja aerosoole ning analüsaator *Dräger X-am 7000*-ga õhus leiduvaid gaase (CH_4 , CO_2 , NH_3 ja H_2S). Temperatuuri ja õhuniiskuse tase registreeriti iga 10 minuti järel, ülejäänud näidud fikseeriti ühe minutilise intervalliga.

Lisaks mõõtmistulemustele koguti andmeid ka munatoodangu ja lindude arvu kohta. Munatoodangu ja lindude arvu põhjal arvutati lindla täituvus, asustustihedus, munatoodang kana kohta ja munatoodang linnu koha kohta. Tabelis 4 on esitatud lindude arvu ja munatoodangu kajastavad andmed puurikanalas ja tabelis 5 õrrekanalas mõõtepäevade lõikes. Mõõtmised viidi enamasti läbi hommikul kella 9-st kuni järgmise päeva kella 9-ni. 15.12–16.12 puurikanalas toimunud mõõtmine viidi läbi vahemikus 11-st 11-ni ja 12.06–13.06 õrrekanalas toimunud mõõtmine 12-st 12-ni. Igal mõõtmiskorral fikseeriti välised kliimaparametrid, mis saadi Valga ilmavaatlusjaamast, mis asub Linnu Talu OÜ-st umbes 26 kilomeetri kaugusel.

Tabel 4. Lindude arvu ja munatoodangut iseloomustavad andmed puurikanalas

Kuupäev	Lindude arv, pead	Munatoodang, tk, ööpäev	Lindla täituvus, %	Asustustihedus, pead/m ²	Munatoodang kana kohta, tk	Munatoodang linnu koha kohta, tk
23-24.02	6646	6280	28,0	3,7	0,9	0,3
24-25.03	20774	15514	87,4	11,7	0,7	0,8
29-30.04	20546	16921	86,5	11,5	0,8	0,9
17-18.06	21650	16805	91,1	12,1	0,8	0,9
21-22.06	21646	13431	91,1	12,1	0,6	0,7
23-24.09	15659	15210	65,9	8,8	1,0	0,8
05-06.10	11346	14308	47,8	6,4	1,3	0,8
15-16.12	21711	19291	91,4	12,2	0,9	1,0

Lindude arv puurikanalas varieerus kuude lõikes suurel määral. Linnu Talu OÜ tegeleb peale kanamunade tootmise ka eluskanade ja sügavkülmutatud kanarümpade müügiga. Puurikanalas oli kõige enam linde juunis ja detsembris (täituvus 91,1%) ning kõige väiksem oli kanala täituvus veebruaris (28,0%). Asustustihedus oli madalaim veebruaris, olles 3,7 lindu/m² kohta. Märtsis, aprillis, juunis ja detsembris oli asustustihedus ligikaudu 12 lindu/m². Oktoobris oli munatoodang kana kohta kõige kõrgem (1,3), juuni teises pooles aga kõige madalam (0,6).

Munatoodang linnu koha kohta oli samuti madalaim juuni teises pooles (0,7), detsembris saadi linnu koha kohta kõige suuremat munatoodangut (1,0).

Tabel 5. Lindude arvu ja munatoodangut iseloomustavad andmed õrrekanalas

Kuupäev	Lindude arv, pead	Munatoodang, tk, ööpäev	Lindla täituvus, %	Asustustihedus, pead/m ²	Munatoodang kana kohta, tk	Munatoodang linnu koha kohta, tk
15-16.04	1497	1553	8,0	0,7	1,0	0,1
22-23.04	1494	1957	8,0	0,7	1,3	0,1
08-09.06	16349	12267	87,8	8,0	0,8	0,5
12-13.06	16337	18610	87,7	8,0	1,1	0,8
16-17.09	16078	11326	86,3	7,8	0,7	0,5
29-30.09	16062	10720	86,3	7,8	0,7	0,5
05-06.12	15836	12338	85,0	7,7	0,8	0,5
13-14.12	15832	12716	85,0	7,7	0,8	0,5

Õrrekanala täituvus oli madalaim aprillis (8,0%) ning suurim juunis, ligikaudu 88%. Asustustihedus oli samuti kõige väiksem aprillis 0,7 lind/m², ülejäänud mõõteperioodidel oli lindla asustustihedus stabiilselt ligikaudu 8 lindu/m² kohta. Õrrekanalas on lubatud maksimaalselt pidada üheksat lindu 1 m² kasutatava pinna kohta. 22.–23. aprill oli munatoodang kana kohta kõige kõrgem (1,3), septembris kõige madalam (0,7). Munatoodang linnu koha kohta oli madalaim aprillis (0,1), 12.-13. juunil saadi linnu koha kohta kõige suurem munatoodang (0,8).

2.3. Statistiline analüüs

Mikrokliimanäitajate omavahelisi ning seoseid lindlaid iseloomustavate näitajatega uuriti lineaarse korrelatsioonanalüüsiga ja lineaarse regressioonanalüüsiga. Tuvastamaks võimalikke erinevusi puuri- ja õrrekanala vahel, teostati analüüsid ja konstrueeriti joonised eraldi mõlemat tüüpi lindla tarvis. Lisaks testiti kanade munatoodangu sõltuvust mikrokliima näitajatest ja lindla tüübist mitmefaktorilise dispersioonanalüüsiga, võttes arvesse lindla tüübi (puuri- vs õrrekanala), mikrokliima näitajad ning lindla tüübi ja mikrokliima näitajate koosmõju. Kuna nii munatoodang kui ka mikrokliima näitajad muutusid aasta jooksul, viidi läbi täiendavad

analüüsid, kus lisaks lindla tüübile, mikrokliimale ja mikrokliima interaktsioonile võeti munatoodangu modelleerimisel dispersioonanalüüsiga arvesse ka sesoon (kevad, suvi, sügis või talv). Siiski ei osutunud sesooni mõju munatoodangule kombinatsioonis ühegi mikrokliimanäitajaga statistiliselt oluliseks. Mikrokliimanäitajate aastasisese muutumise analüüsimiseks erinevat tüüpi lindlates arvutati kõigi vaatluspäevade jaoks keskmised väärtused koos standardhälvetega. Kuna mõõtmisi erinevat tüüpi lindlates sooritati erinevatel päevadel ja mõõtmiste intervall oli ka erinev, polnud võimalik teostada lindlate võrdlusi konkreetsete päevade kaupa. Seetõttu kanti erinevat tüüpi lindlatele ja mõõtmisaegadele vastavad keskmised väärtused koos standardhälvetega joonisele ja esitati mikrokliimanäitajate aastasisese muutumise dünaamika andmetele sobitatud kolmandat järku polünoomide abil. Saadud joonised võimaldavad visuaalselt hinnata mikrokliimanäitajate taset, varieeruvust ja aastasisest muutumist erinevat tüüpi lindlates. Aasta keskmisi mikrokliimanäitajaid erinevate tüüpi lindlates võrreldi t-testiga. Mitmefaktoriline dispersioonanalüüs teostati ning korrelatsioonanalüüsi tulemusi illustreeriv joonis konstrueeriti statistikaprogrammis R, kõik ülejäänud statistilised analüüsid teostati ja joonised konstrueeriti MS Excelis.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

Tabelis 6 on esitatud väliskliima näitajate keskmised väärtused. Toodud on keskmine õhutemperatuur, suhteline õhuniiskus ja tuule kiirus mõõtepäeval. Lindla sisekliima sõltub oluliselt hoone arhitektuurist, akende paiknemisest ning ümbritseva s.t väliskeskkonna teguritest (Kalamees 2018: 37).

Tabel 6. Mikrokliima näitajate keskmised väärtused Valga ilmavaatlusjaama andmetel

	Puurikanala			Õrrekanala		
Mõõteperiood	Õhu- temperatuur °C	Suhteline õhuniiskus %	Õhu liikumise kiirus m/s	Õhu- temperatuur °C	Suhteline õhuniiskus %	Õhu liikumise kiirus m/s
Kevad						
1	0,71	66,08	2,79	-1,12	74,68	1,39
2	4,23	92,88	4,34	3,14	86,60	4,19
Suvi						
1	19,30	58,44	1,51	13,22	79,36	2,01
2	11,67	75,64	3,79	13,79	89,40	3,47
Sügis						
1	12,05	81,12	–*	11,03	88,00	2,51
2	5,87	95,84	2,16	7,01	87,88	0,86
Talv						
1	-1,71	84,60	2,95	-0,14	94,16	2,91
2	0,55	90,72	2,65	0,07	87,92	3,94

* Näitaja puudub ilmavaatlusjaamas tekkinud tõrgete tõttu.

Tabelis 7 on esitatud puuri- ja õrrekanala mikrokliima näitajate keskmised väärtused aastaegade lõikes. Lindlate sisekliima sõltub ventilatsioonist, välisseinte soojustusest, kütmisest, sõnniku eemalduse süsteemist, lindude asustustihedusest ja vanusest ning muudest tegurites, mistõttu ei saa erinevust seostada ainult pidamistehnoloogiatega.

Tabel 7. Mikrokliima näitajate keskmised väärtused puuri- ja õrrekanalas

Puurikanala	Temperatuur °C	Õhuniiskus %	CO ₂ ppm	NH ₃ ppm	PM(kokku) mg/m ³
Kevad	19,7	37,9	1998,0	0,04	0,56
Suvi	21,1	45,6	899,1	0,12	1,45
Sügis	19,7	49,1	1372,3	0,32	0,66
Talv	22,7	40,0	2952,2	0,04	2,75
Õrrekanala					
Kevad	19,6	45,6	2630,2	1,26	7,71
Suvi	16,4	74,0	806,4	0,15	0,77
Sügis	14,4	67,1	943,0	0,01	0,80
Talv	20,3	45,3	2641,7	0,19	2,26

Tabelis pole välja toodud metaani ja divesiniksulfiidi kontsentratsioone, kuna antud gaaside tase lindlate õhus oli väiksem kui seadme alumine mõõtepiir.

Tabelis 8 on esitatud temperatuuride erinevus lindlates. Välja on toodud päeva miinimum, maksimum ning keskmine temperatuur, temperatuuri standardhälve ja erinevuse olulisus. Erinevuse olulisus leiti t-testiga olemasolevate andmeridade lõikes.

Tabel 8. Õhutemperatuuri näitajate võrdlus puuri- ja õrrekanalas

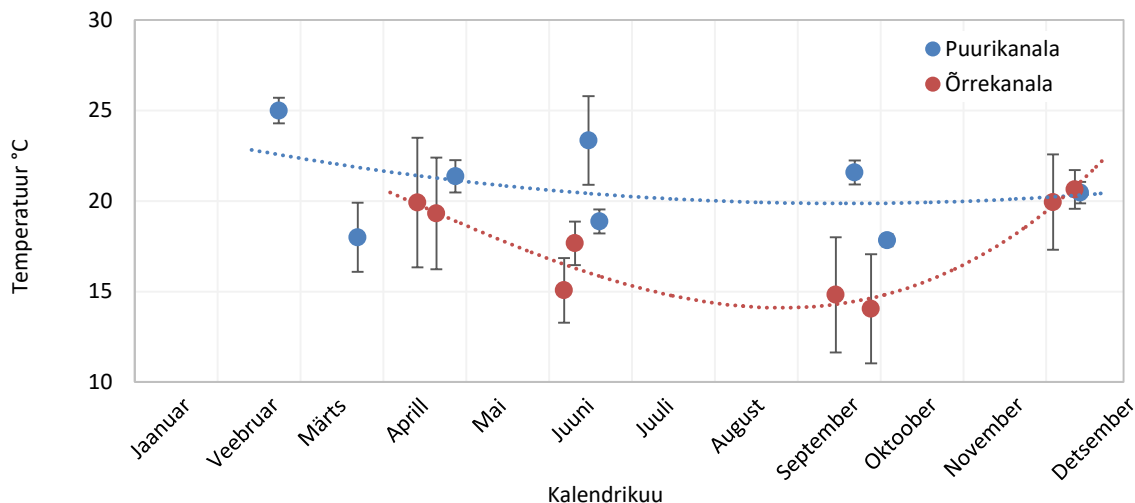
	Temperatuur, °C								
	Puurikanala				Õrrekanala				P
Mõõte-periood	Keskmine	St	Min	Max	Keskmine	St	Min	Max	
Kevad									
1	18,00	1,91	14,82	23,05	19,92	3,58	9,50	22,57	P<0,001***
2	21,37	0,89	14,83	23,09	19,31	3,09	12,60	22,00	P<0,001***
Suvi									
1	23,35	2,46	19,61	26,54	15,06	1,78	10,52	18,54	P<0,001***
2	18,88	0,67	17,72	20,42	17,66	1,20	14,82	20,40	P<0,001***
Sügis									
1	21,57	0,66	18,54	22,25	14,82	3,18	8,88	20,50	P<0,001***
2	17,84	0,34	15,72	18,29	14,05	3,01	9,24	19,81	P<0,001***
Talv									
1	25,00	0,71	21,92	26,15	19,94	2,63	6,36	22,09	P<0,001***
2	20,46	0,59	19,36	21,64	20,65	1,07	11,59	21,33	P<0,001***

Tulemustest nähtub, et temperatuur lindlate lõikes jäi kümnel mõõtekorral optimaalsest madalamaks. Lindlate optimaalne õhutemperatuur on 21 °C (Sainsbury 2000: 47). Arvatakse, et iga kraad optimaalsest madalam temperatuur suurendab lindude söödatabimist (Ilves jt 2011: 6). Temperatuur võib lindlates varieeruda 5...24 °C vahel, kuid järsk temperatuuri tõus

või langus pole soovitatav, kuna linnud on muutuste suhtes tundlikud (Sainsbury 2000: 48). Temperatuurid õrrekanalas olid madalamad kui puurikanalas. Madalaim temperatuur õrrekanalas mõõdeti talve esimesel mõõteperioodil (6,36 °C), puurikanalas aga kevade esimesel mõõteperioodil (14,82 °C). Kõrgeim temperatuur õrrekanalas oli kevade esimesel mõõteperioodil (22,57 °C), puurikanalas vastavalt suve esimesel mõõteperioodil (26,54 °C). Erinevus lindlate õhutemperatuuris võib tuleneda mõõteperioodide väliskliima tingimustest, kuid ka lindude asustustihedusest, mis muutus aastaaegade lõikes. Õhutemperatuuri kanalas võis mõjutada ka välisukse asumine mõõteaparaatide läheduses, kuna munade transportimine pakendamiskeskusesse toimub traktori abil ning uste lahti hoidmine võis põhjustada teatava temperatuuri kõikumise. Puuri- ja õrrekanala õhutemperatuuride erinevus oli kõikidel mõõteperioodidele statistiliselt oluline $p < 0,001$.

Joonisel 7 on välja toodud puuri- ja õrrekanala keskmine temperatuur ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes. Temperatuuri standardhälve õrrekanalas oli kuude lõikes suurem kui puurikanalas. Samuti oli õrrekanala temperatuur aastasiseselt muutlikum.

Mikrokliima näitajate aastasisese muutumise analüüsimiseks erinevat tüüpi kanalates arvutati kõigi vaatluspäevade jaoks keskmised väärtused koos standardhälvetega. Kuna mõõtmised erinevates kanalates sooritati erinevatel päevadel ja mõõtmiste intervall oli ka erinev, polnud võimalik teostada kanalate võrdlusi konkreetsete päevade kaupa. Seetõttu kanti erinevatele kanalatele ja mõõtmisaegadele vastavad keskmised väärtused koos standardhälvetega joonisele ja esitati mikrokliima näitajate aastasisese muutumise dünaamika andmetele sobitatud kolmandat järku polünoomide abil. Saadud joonised võimaldavad visuaalselt hinnata mikrokliima näitajate taset, varieeruvust ja aastasisest muutumist erinevat tüüpi kanalates. Arvutused tehti ja vastavad joonised konstrueeriti MS Excelis.



Joonis 7. Lindlate keskmine temperatuur ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes ning temperatuuri aastasisene muutus

Tabelis 9 on esitatud kanalate keskmine õhuniiskuskus ja selle erinevus

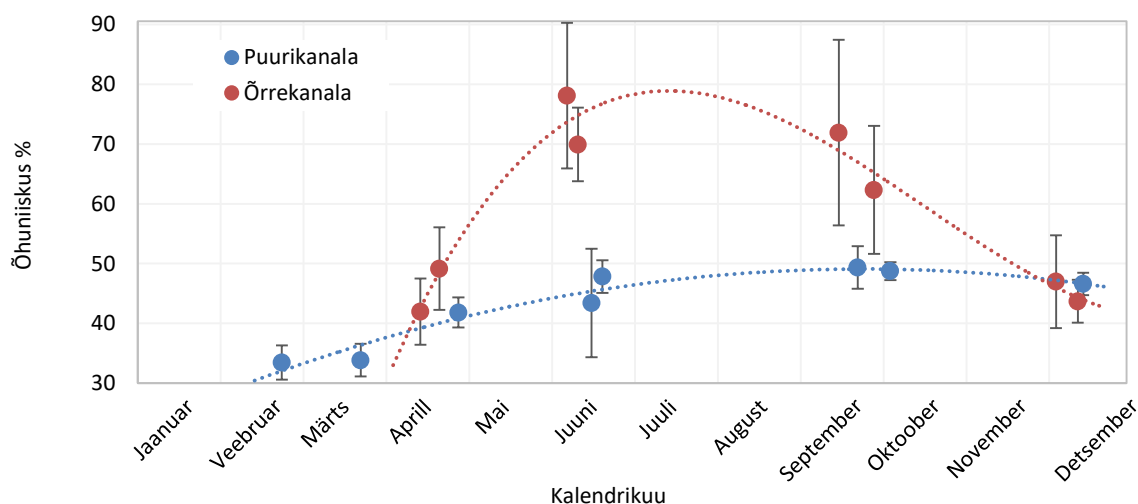
Tabel 9. Õhuniiskust iseloomustavad näitajad puuri- ja õrrekanalas

	Õhuniiskusk, %								
	Puurikanala				Õrrekanala				P
Mõõte-periood	Keskmine	St	Min	Max	Keskmine	St	Min	Max	
Kevad									
1	33,87	2,71	28,38	42,46	42,00	5,53	24,87	56,15	P<0,001***
2	41,84	2,50	36,98	48,55	49,17	6,91	38,40	73,30	P<0,001***
Suvi									
1	43,42	9,07	31,11	57,29	78,08	12,16	57,46	100,00	P<0,001***
2	47,84	2,74	38,23	51,88	69,91	6,14	53,88	87,02	P<0,001***
Sügis									
1	49,36	3,58	46,52	62,36	71,89	15,49	48,80	96,29	P<0,001***
2	48,76	1,49	46,30	53,22	62,32	10,71	48,97	84,29	P<0,001***
Talv									
1	33,47	2,87	28,29	39,33	46,98	7,77	39,77	76,53	P<0,001***
2	46,61	1,87	40,29	48,97	43,70	3,58	39,44	77,76	P<0,001***

Suhteline õhuniiskusk kanalas peaks olema vahemikus 60...75% (Ilves jt 2011: 6). Madalaim õhu niiskusesisaldus puurikanalas fikseeriti talve esimesel mõõteperioodil (28,29%), kõrgeim aga sügise esimesel mõõtmisel (62,36%). Õrrekanalas fikseeriti madalaim suhtelise õhuniiskuse tase kevade esimesel mõõtmisel (24,87%), kõrgeim aga suve esimesel mõõtmisel (100%). Õhuniiskuse sisaldus õrrekanalas varieerus aastaegade lõikes üsna suuresti. See võis

olla põhjustatud muutlikest ilmastikuoludest või ka ventilatsiooni efektiivsusest. Puurikanala keskmine õhuniiskuskordade soovituskordadele väiksemaks, õrrekanalas oli see suvel ja sügisel normi piires. Suhtelise õhuniiskuse erinevus puuri- ja õrrekanalas osutus kõikidel mõõtekordadel statistiliselt oluliseks $p < 0,001$.

Joonisel 8 on esitatud kanalate keskmine õhuniiskuskordade ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes. Jooniselt nähtub, et keskmine õhuniiskuskordade õrrekanalas on kõrgem kui puurikanalas, kuid puurikanalas oli see stabiilsem.



Joonis 8. Lindlate keskmine õhuniiskuskordade ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes ning õhuniiskuse aastasisene muutus

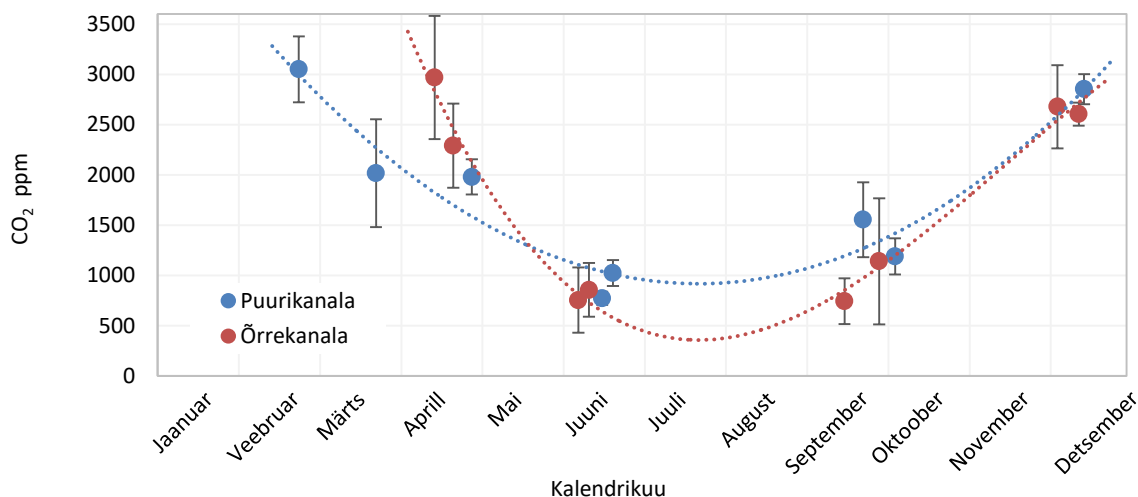
Süsihappegaasi kõrge kontsentratsioon põhjustab sööda tarbimise ja munatoodangu vähenemist ning tõsisid hingamisteede probleeme (Talukder jt 2010: 255). Linnu Talus läbiviidud mõõtmiste tulemused on välja toodud tabelis 10. Nähtub, et süsihappegaasi kontsentratsioon mõlema kanala õhus oli eelnimetatust oluliselt madalam. Kõrgeim süsihappegaasi sisaldus puurikanalas fikseeriti kevade esimesel mõõteperioodil (5300,0 ppm), õrrekanalas samuti kevade esimesel mõõtmisel (4200,0 ppm). Uuringud on tõestanud, et kui süsihappegaasi tase lindla õhus on suurem kui 3000 ppm-i mõjutab see munatoodangut negatiivselt. Kui kanala CO_2 keskmine kontsentratsioon on 3000 ppm-i langeb munatoodang 72%-ni, 500 ppm-i korral on munatoodang aga 78,45% (*Ibid*: 256).

Puuri- ja õrrekanala õhu süsihappegaasi kontsentratsiooni erinevus osutus mõõtekordade võrdluses statistiliselt oluliseks. Kuuel korral oli $p < 0,001$, sügise teisel mõõtekorral $p < 0,05$ ja suve esimesel mõõtekorral erinevus puudus $p < 0,1$. Kanalate vaheline erinevus võis olla tingitud sisetemperatuurist, sõnniku koristamise intensiivsusest, allapanu olemasolust kui ka ventilatsiooni mahust.

Tabel 10. Süsihappegaasi kontsentratsiooni iseloomustavad näitajad puuri- ja õrrekanalas

	CO ₂ ppm								
	Puurikanala				Õrrekanala				P
Mõõte-periood	Keskmine	St	Min	Max	Keskmine	St	Min	Max	
Kevad									
1	2016,2	536,2	1400,0	5300,0	2969,6	611,8	800,0	4200,0	P<0,001****
2	1979,8	174,5	1503,0	2400,0	2290,7	417,4	812,6	2920,0	P<0,001****
Suvi									
1	773,5	65,3	600,0	1000,0	755,5	324,4	400,0	1700,0	P<0,1
2	1024,7	129,3	700,0	1500,0	857,2	267,5	500,0	1565,0	P<0,001****
Sügis									
1	1554,8	371,2	1000,0	2710,0	745,0	227,6	500,0	1485,0	P<0,001****
2	1189,8	180,5	800,0	1600,0	1141,1	625,8	400,0	2366,0	P<0,05*
Talv									
1	3051,5	327,9	1406,0	3600,0	2678,4	413,5	611,6	3300,0	P<0,001****
2	2852,9	149,7	2500,0	3258,0	2605,1	115,2	2358,0	2935,0	P<0,001****

Joonisel 9 on esitatud süsihappegaasi kontsentratsioonide muutus ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes. Nähtub, et talvel ja kevadel oli mõlema kanala õhu süsihappegaasi sisaldus 2000–3000 ppm-i vahel, suvel ja sügisel aga madalam. Süsihappegaasi aastasisese muutuse trend näitab kevadest alates langust ning sügisest taaskord tõusu. Puurikanala õhu CO₂ kontsentratsioon oli ka juulis, võrreldes õrrekanalaga kõrgem, olles ca 1000 ppm-i, õrrekanalas aga vastavalt ca 500 ppm-i.



Joonis 9. Lindlate õhu keskmine süsihappegaasi kontsentratsioon ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes ning süsihappegaasi sisalduse aastasisene muutus

Õrre- ja puurikanala õhu süsihappegaasi sisalduse standardhälved varieerusid 97-st kuni 514 ppm-ni. Õrrekanala standardhälved mõõtepäevade lõikes erinesid keskmisest rohkem kui puurikanala vastavad näitajad. See võis tuleneda väliskliima mõjust, kanalate ventilaatorite efektiivsusest ning sõnnikusüsteemi erinevustest.

Gaaside, sealhulgas süsihappegaasi kontsentratsiooni tõusu põhjustab lindlas peamiselt halb ventilatsioon. Kanala õhku satuvad kahjulikud gaasid lindude elutegevuse käigus ja allapanu ning sõnniku laguproduktidena (Hämmal 2018).

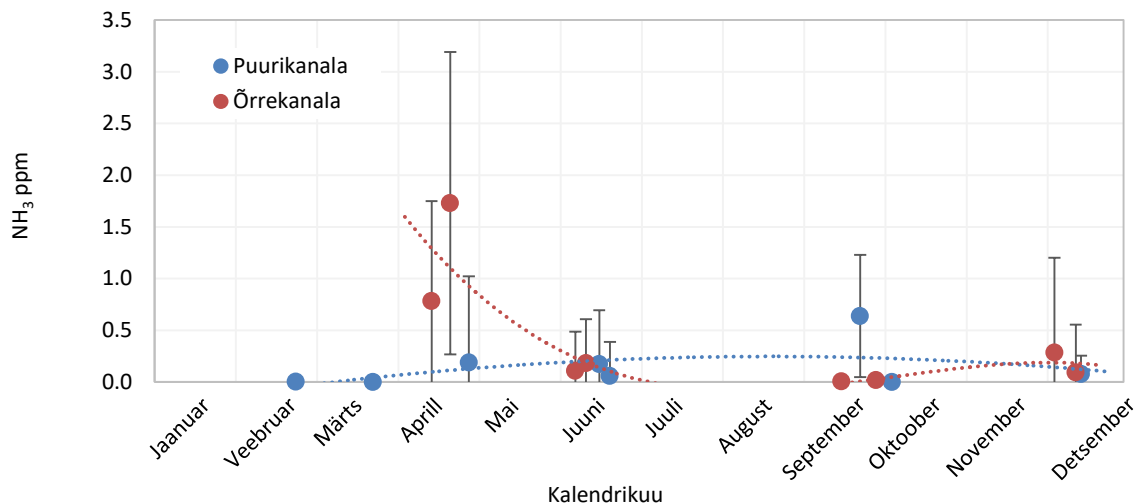
Eesti seadusandlikes aktides pole loomaruumidele ammoniaagi taseme piirmäärasid kehtestatud. Soome vastavates normatiivides on ammoniaagi piirmääraks 10 ppm-i (Hämmal 2018). Sõltuvalt pidamistehnoloogiast jms teguritest võib ammoniaagi emissioon olla keskmiselt 0,010...0,386 kg linu kohta aastas. Ammoniaagi emissiooni lindlas suurendab proteiinirikas sööt, kuna ammoniaak on proteiini seedeprotsessis üks vaheprodukt. Lisaks mõjutab ammoniaagi emissiooni lindla konstruktsioon ja pidamistehnoloogia, allapanu kasutamine ning ventilatsiooni efektiivsus (Kaasik 2005: 42). Tabelis 11 on esitatud mõõtmistulemused Linnu Talus.

Tabel 11. Ammoniaagi kontsentratsiooni iseloomustavad näitajad puuri- ja õrrekanalas

	NH ₃ ppm								
	Puurikanala				Õrrekanala				P
Mõõte-periood	Keskmine	St	Min	Max	Keskmine	St	Min	Max	
Kevad									
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	0,97	0,00	4,20	P<0,001***
2	0,19	0,83	0,00	5,35	1,73	1,46	0,00	9,52	P<0,001***
Suvi									
1	0,17	0,52	0,00	3,00	0,11	0,38	0,00	2,88	P<0,001***
2	0,06	0,33	0,00	2,85	0,18	0,43	0,00	2,53	P<0,001***
Sügis									
1	0,64	0,59	0,00	2,38	0,01	0,04	0,00	0,38	P<0,001***
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	1,95	P<0,001***
Talv									
1	0,00	0,04	0,00	0,93	0,28	0,92	0,00	4,58	P<0,001***
2	0,08	0,18	0,00	1,03	0,09	0,46	0,00	3,03	P<0,001***

Mõlema kanala õhu ammoniaagi kontsentratsiooni keskmised näidud jäid alla lubatud piirmäära. Lindlate õhu keskmine ammoniaagi sisaldus jäi enamasti alla 1 ppm-i, ainult kevade teisel mõõteperioodil õrrekanalas oli see 1,73 ppm-i. Kõrgeim NH₃ tase puurikanalas fikseeriti kevade teisel mõõtmiskorral (5,35 ppm). Kõrgeim ammoniaagi sisaldus õrrekanalas fikseeriti samuti kevade teisel mõõtmiskorral, kui lindla õhus oli ammoniaaki 9,52 ppm-i. Mõõtmistulemustest nähtub, et keskmine ammoniaagi sisaldus kujunes õrrekanala õhus enamasti suuremaks (v.a üks suvine ja sügisene mõõtmiskord). Ammoniaagi kontsentratsioonide erinevus lindlate vahel oli kõikide mõõtmiskordade lõikes statistiliselt oluline $p < 0,001$.

Joonisel 10 on esitatud ammoniaagi kontsentratsioonide muutus ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes. Ammoniaagi standardhälve varieerub samuti üsna suurtes piirides. Õrrekanalas oli see vahemikus 0,02 kuni 1,46 ppm-i. Puurikanalas oli standardhälve varieeruvus väiksem, jäädes 0,00...0,83 ppm-i vahemikku. Aasta lõikes oli puurikanala õhu ammoniaagi kontsentratsioon ühtlasem võrreldes õrrekanala õhuga.



Joonis 10. Lindlate õhu keskmine ammoniaagi kontsentratsioon ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes ning ammoniaagi sisalduse aastasisene muutus.

Puuri- ja õrrekanala õhu süsihappegaasi ning ammoniaagi kontsentratsioonid jäid alla lubatava piirnormi, mis näitab, et mõlema lindla ventilatsioon tagab piisava õhuvahtuse. Lindlates on ka efektiivne sõnnikumajandus, mis tagab sõnniku kiire eemaldamise, vähendades seeläbi kahjulike gaaside teket.

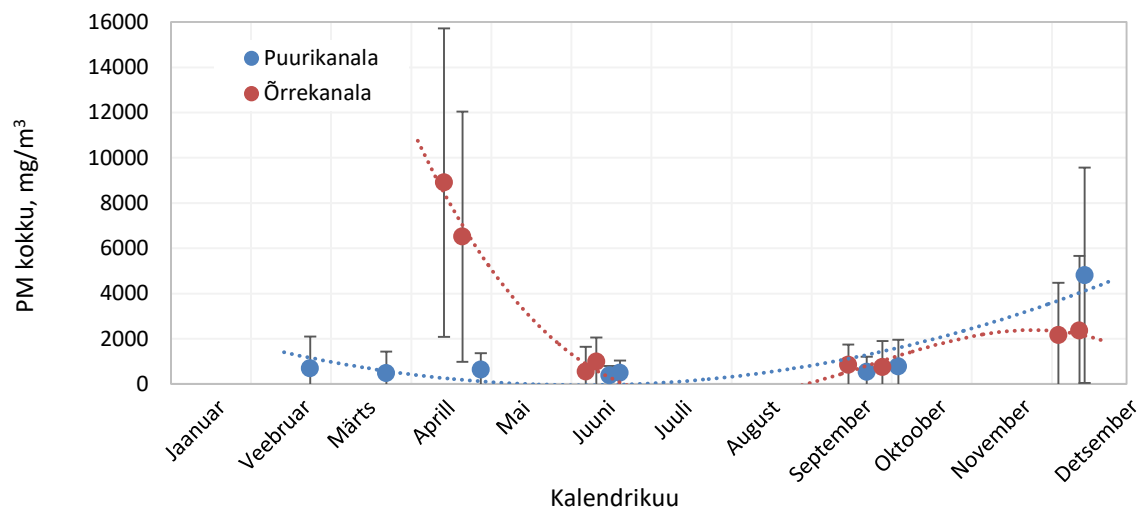
Tabelis 12 on esitatud peenosakeste keskmised kontsentratsioonid puuri- ja õrrekanala õhus. Tabelist selgub, et õrrekanala õhus oli peenosakeste kontsentratsioon kõrgem kui puurikanalas, v.a kahel mõõteperioodil. Madalaim kogutolmu keskmine näitaja puurikanalas fikseeriti suve esimesel mõõtekorral ($0,38 \text{ mg/m}^3$), ka õrrekanala vastav näitaja oli madalam suve esimesel mõõtekorral ($0,55 \text{ mg/m}^3$). Kõrgeim kogutolmu keskmine kontsentratsioon fikseeriti puurikanalas talve teisel mõõtekorral ($4,81 \text{ mg/m}^3$) ning õrrekanalas kevade esimesel mõõtekorral ($8,91 \text{ mg/m}^3$). Peenosakeste kontsentratsiooni erinevus vastavalt puuri- ja õrrekanalas oli seitsmel mõõtekorral statistiliselt oluline $p < 0,001$, v.a sügise teine mõõtmine $p > 0,5$.

Tabel 12. Peenosakeste kontsentratsioon puuri- ja õrrekanalas

	PM (kokku) mg/m ³								
	Puurikanala				Õrrekanala				
Mõõte-periood	Keskmine	St	Min	Max	Keskmine	St	Min	Max	P
Kevad									
1	0,48	0,96	0,03	25,29	8,91	6,81	0,01	80,78	P<0,001***
2	0,64	0,73	0,04	10,32	6,51	5,53	0,11	65,95	P<0,001***
Suvi									
1	0,38	0,41	0,02	4,62	0,55	1,10	0,01	7,54	P<0,001***
2	0,49	0,55	0,03	13,12	0,98	1,07	0,01	11,53	P<0,001***
Sügis									
1	0,53	0,67	0,04	11,28	0,84	0,90	0,01	4,64	P<0,001***
2	0,78	1,18	0,04	22,96	0,75	1,15	0,01	13,85	P>0,5
Talv									
1	0,69	1,41	0,01	22,08	2,16	2,32	0,00	45,09	P<0,001***
2	4,81	4,76	0,92	63,31	2,37	3,30	0,14	58,33	P<0,001***

Peenosakeste sisalduse piirmäär loomaruumide õhus on 0,5...4 mg/m³, lindlates on see aga mõnevõrra kõrgem 3...8 mg ehk 3000...8000 µg/m³ (Kaasik 2014). Keskmine peenosakeste kontsentratsioon oli mitmel mõõtekorral piirmäärast kõrgem. Selline trend nähtub ka mitmetest teadusartiklitest (Rautits 1972 ref Tikk jt 2007: 130). Lindlate õhu peenosakeste kontsentratsiooni on suhteliselt keeruline kontrolli all hoida kuna see sõltub allapanu kvaliteedist, lindude ligipääsust allapanule, lindude asustustihedusest ja aktiivsuse tasemest.

Joonisel 11 on esitatud peenosakeste kontsentratsioonide muutus ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes. Kontsentratsioon õrrekanalas varieerus rohkem kui puurikanalas. See võib tuleneda allapanu kasutamisest õrrekanalas. Õrrekanala õhu peenosakeste kontsentratsiooni standardhälve varieerus samuti rohkem kui puurikanala vastava näitaja.



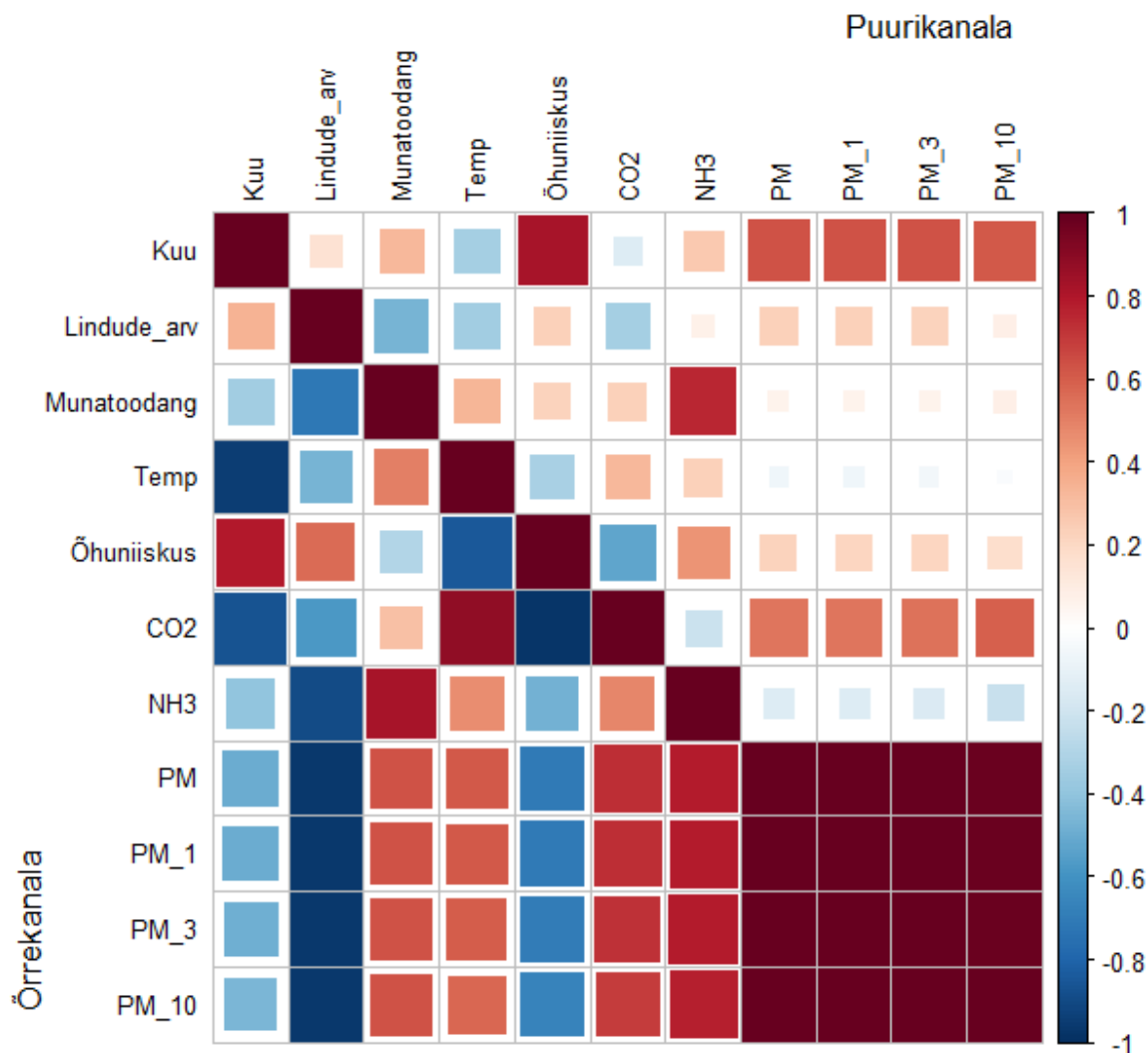
Joonis 11. Lindlate õhu keskmine peenosakeste kontsentratsioon ja selle standardhälve kalendrikuude lõikes ning peenosakeste kontsentratsiooni aastasisene muutus

Lindude aktiivsuse kasv põhjustab tavaliselt tolmu heitkoguste suurenemist (Santonja jt 2017: 61). Uuringutest on selgunud, et peenosakeste sisaldus örrekanala õhus on kõrgeim, madalaim on see puurispidamisel ning põrandalpidamisel jääb nende vahele (Bouquin jt 2013: 2830). Linnu Talus läbiviidud uuringu tulemused vastavad üldjoontes eelnevalt esitatud väitele, kuna ainult ühel mõõtekorrall oli örrekanala õhu keskmine peenosakeste kontsentratsioon kõrgem kui puurikanalas. Lindlate õhu peenosakeste sisaldust mõjutab ventilatsiooni maht, õhuniiskus, lindude paigutustihedus ja vanuseline koosseis, väga oluline on ka allapanu olemasolu ja selle kogus. Peamiseks peenosakeste kontsentratsiooni erinevust mõjutavaks faktoriks Linnu Talu puuri- ja örrekanalas oligi eeldatavasti örrekanalas kasutatav allapanu.

Joonisel 12 on esitatud puuri- ja örrekanalas mõõdetud erinevate parameetrite vaheliste korrelatsioonide tugevus. Värvus näitab, kui tugev või nõrk on erinevate näitajate vaheline korrelatsioon. Punane värv märgib positiivset ja sinine värv negatiivne seost ning, mida intensiivsem on värv, seda tugevam on seos. Skaala on välja toodud joonise kõrval.

Nähtub, et esines nii tugevaid negatiivseid kui ka tugevaid positiivseid seoseid. Näiteks puurikanalas esines õhuniiskuse ja temperatuuri vahel tugev negatiivne seos ($r = -0,85$), örrekanala temperatuuri ja süsihappegaasi vahel tugev positiivne seos ($r = 0,88$). Parameetrite vahel esines ka väga nõrka seost, näiteks puurikanalas puudus seos lindude arvu ja

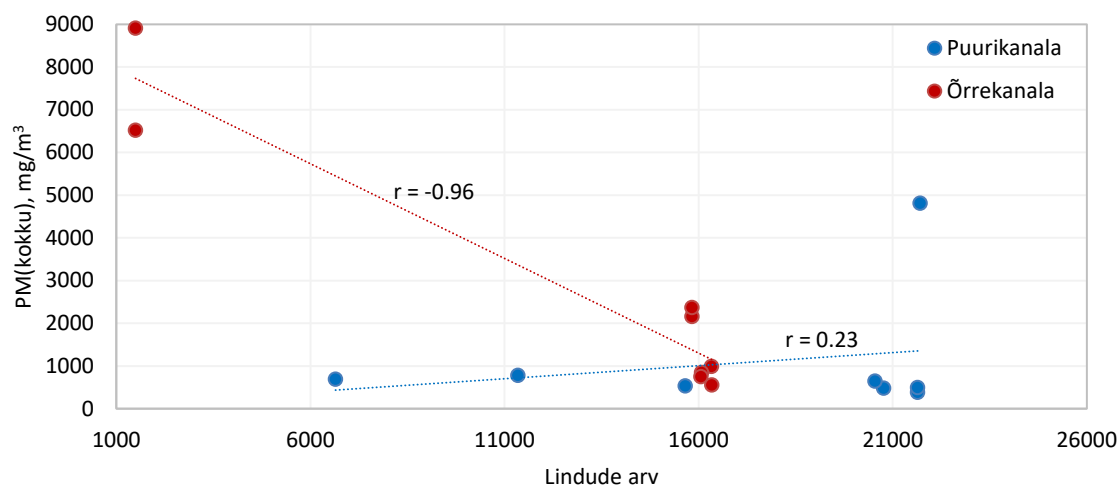
ammoniaagi sisalduse vahel ($r = 0,08$). Nähtub, et kõige tugevamad seosed ja ka lahknevused lindlatüüpide vahel esinesid võrdluses peenosakestega.



Joonis 12. Puuri- ja õrrekanalas fikseeritud parameetrite vaheliste korrelatsioonide tugevus

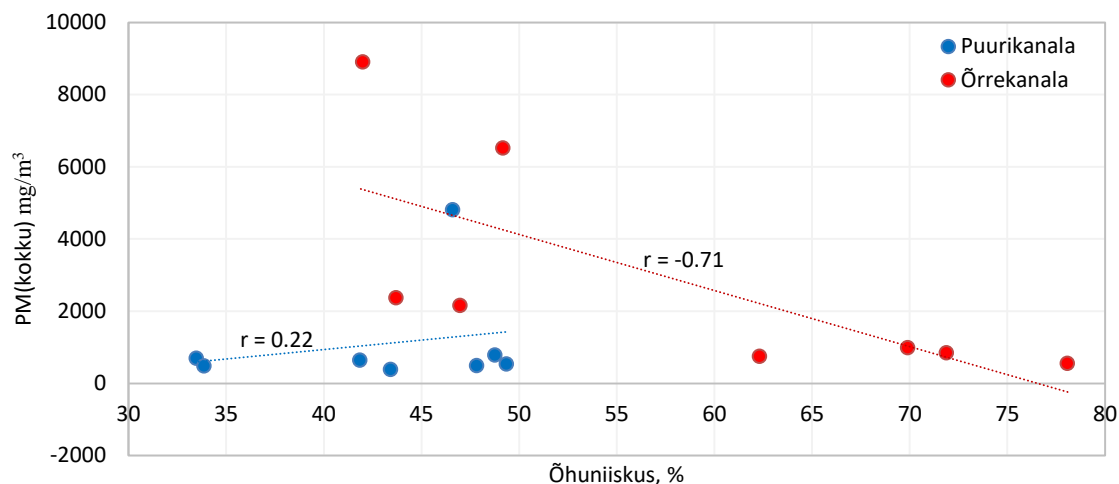
Järgnevalt on analüüsiti üksikute parameetrite vahelisi seoseid ning välja toodud neid põhjustavad mõjufaktorid. Joonisel 13 on toodud lindude arvu ja õhu peenosakeste sisalduse vaheline sõltuvus. Lindude arv on üheks peenosakeste sisaldust mõjutavaks faktoriks kanalas. Kirjanduse allikatest nähtub, et lindude arvu suurenedes suureneb ka peenosakeste kontsentratsioon (Management of... 1999: 2). Linnu Talu OÜ õrrekanalas oli aga peenosakeste kontsentratsiooni ja lindude arvu vahel tugev negatiivne seos ($r = -0,96$).

Ebaloomilisus võis tuleneda eeskätt asjaolust, et mõõtekordadel, kui lindude arv oli väike paigutati kanad uueks munemisperioodiks lindlasse, ja sellele eelnevalt lisati kanalasse värsket allapanu. Puurikanalas, kus allapanu ei kasutata oli peenosakeste kontsentratsiooni ja lindude arvu vahel nõrk positiivne seos ($r = 0,23$).



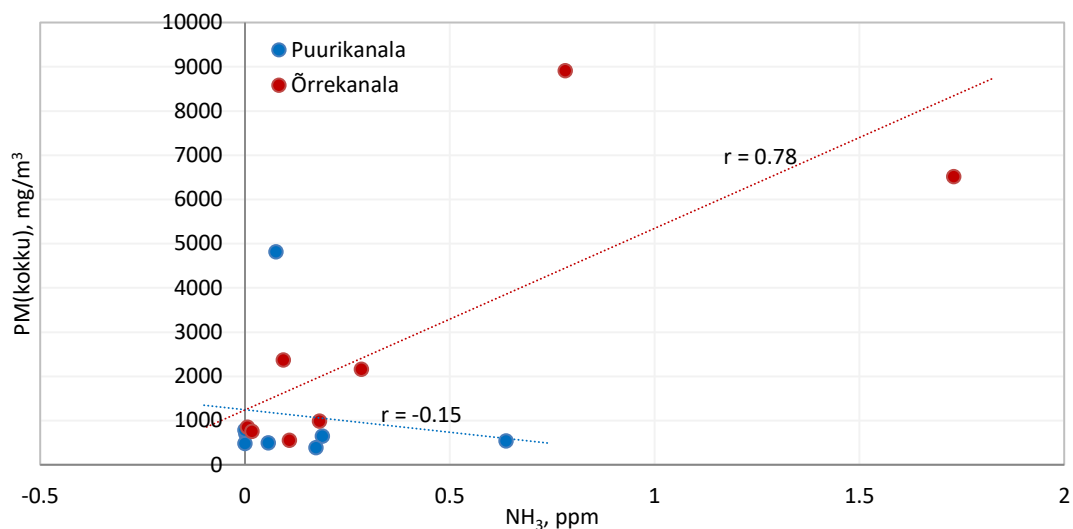
Joonis 13. Peenosakeste ja lindude arvu vaheline seos puuri- ja õrrekanalas

Joonisel 14 on esitatud kogutolmu sisalduse ja suhtelise õhuniiskuse vaheline sõltuvus. Puurikanalas oli peenosakeste ja suhtelise õhuniiskuse vahel nõrk positiivne seos ($r = 0,22$). Õrrekanalas oli vastav seos tugevalt negatiivne ($r = -0,71$). Suhtelise õhuniiskuse suurenedes väheneb peenosakeste sisaldus, mis tuleneb niiskuse omadusest osakesi siduda, mis takistab nende lendumist õhus. Suhteline õhuniiskust kanalas sõltub ilmastikust, eriti sügis- ja talveperioodil (Tikk jt 2007: 128). Lisaks mõjutab õhuniiskust ventilatsioonimaht (*Ibid*: 129).



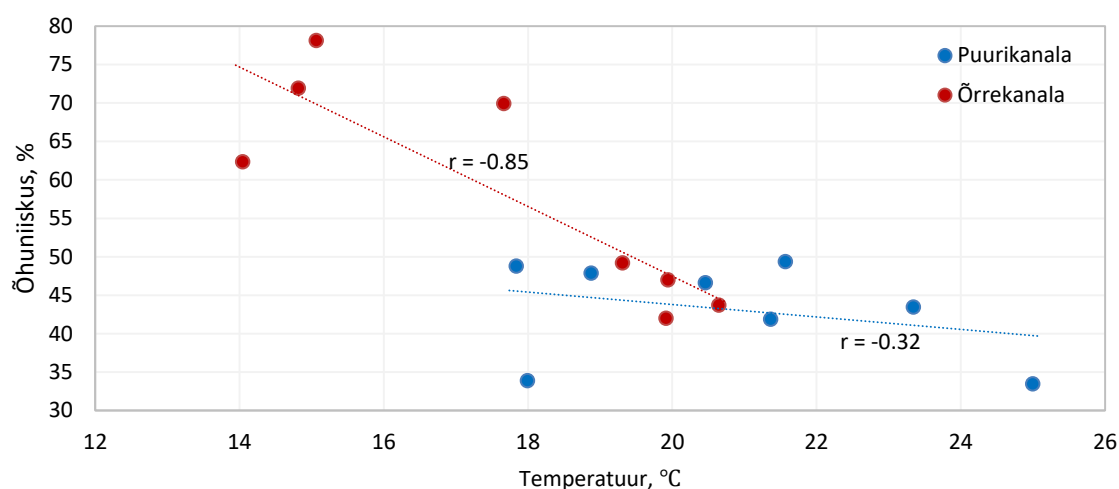
Joonis 14. Peenosakeste kontsentratsiooni ja suhtelise õhuniiskuse vaheline seos

Joonisel 15 on kujutatud peenosakeste ja ammoniaagi kontsentratsiooni vaheline sõltuvus kanalates. Õrrekanala õhus oli peenosakeste ja ammoniaagi sisalduse vahel tugev positiivne seos ($r = 0,78$). Puurikanalas oli aga antud mikrokliimanäitajate vahel väga nõrk negatiivne korrelatsioon ($r = -0,15$). Kanalate vaheline erinevus võis tuleneda allapanu kasutamisest Õrrekanalas. Allapanust tekib hulgaliselt peenosakesi, mis seovad ammoniaaki (nn. sekundaarsed peenosakesed). Sekundaarsete peenosakeste kontsentratsioon lindla õhus sõltub aga ventilatsioonimahust.



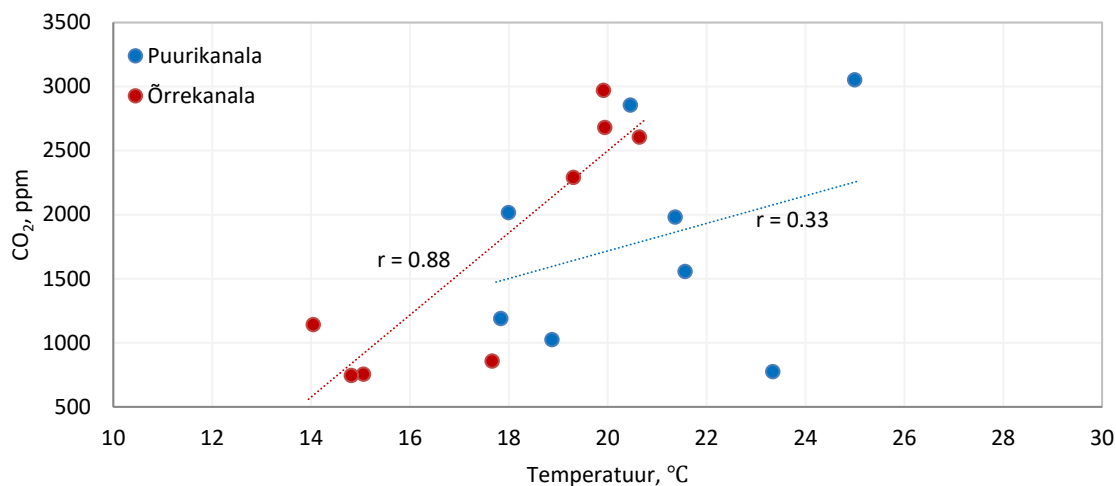
Joonis 15. Peenosakeste ja ammoniaagi vaheline seos puuri- ja Õrrekanalas

Joonisel 16 on esitatud suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vahelised seosed. Õrrekanalas esines õhutemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse vahel tugev negatiivne seos ($r = -0,85$) ning puurikanalas nõrk negatiivne seos ($r = -0,32$). Korrelatsioonid olid kooskõlas eeldusega, et temperatuuri tõustes suhteline õhuniiskus väheneb ning temperatuuri langedes õhuniiskus suureneb (Tikk jt 2007: 128). Puurikanalas oli seos aga nõrgem kui õrrekanalas, mis võib viidata ventilatsioonimahtude erinevusele. Kogu mõõteperioodi jooksul olid õhutemperatuurid õrrekanalas madalamad, millest võib järeldada, et õrrekanala ventilatsioonimahud on stabiilselt suuremad.



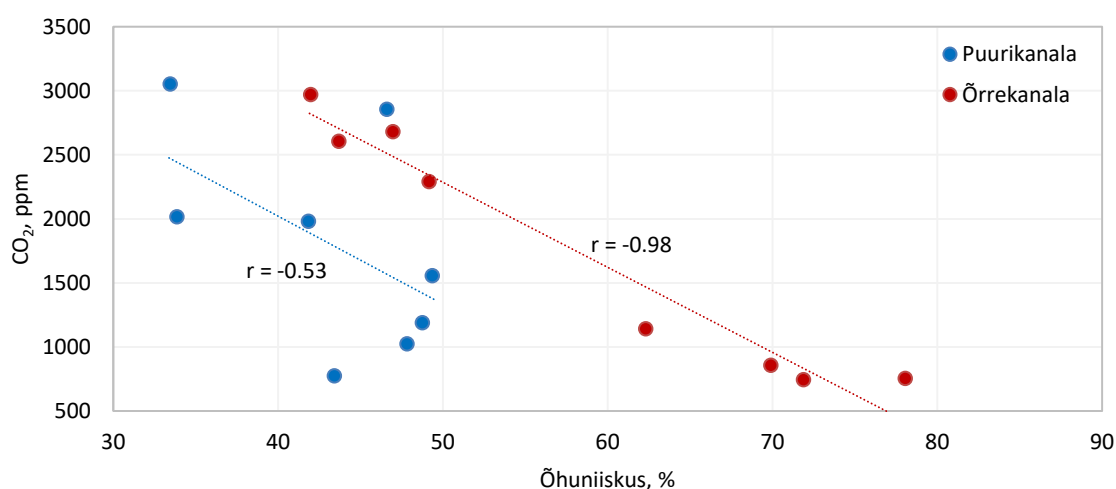
Joonis 16. Suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vahelised seosed

Joonisel 17 on kujutatud süsihappegaasi kontsentratsiooni ja temperatuuri vahelised seosed lindlates. Õrrekanalas oli süsihappegaasi kontsentratsiooni ja temperatuuri vahel tugev positiivne seos ($r = 0,88$), puurikanalas aga nõrk positiivne korrelatsioon ($r = 0,33$). Kanalates on peamiseks süsihappegaasi allikateks lindude hingamine ja väljaheidete orgaanilise aine lagunemine ning küttesüsteemid. Temperatuuri tõustes lindude hingamine intensiivistub, vabanemaks liigsest soojusest. Kõrgema temperatuuri juures toimub ka väljaheidete orgaanilise aine kiirem lagunemine, mis põhjustab samuti CO_2 taseme tõusu (Knížatová jt 2010 ref Brouček, Čermák 2015: 96).



Joonis 17. Süsihappegaasi ja õhutemperatuuri vahelised seosed puuri- ja õrrekanalas

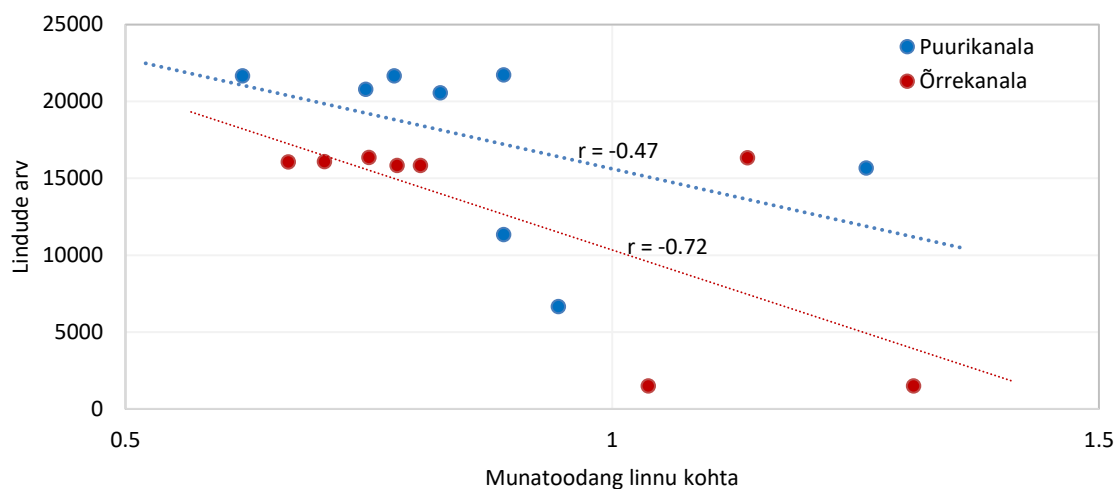
Joonisel 18 on esitatud süsihappegaasi sisalduse ja suhtelise õhuniiskuse vahelised seosed. Õrrekanalas esines süsihappegaasi sisalduse ja suhtelise õhuniiskuse vahel tugev negatiivne seos ($r = -0,98$), puurikanalas oli vastav seos samuti negatiivne, kuid keskmise tugevusega ($r = -0,53$). Tulemustest nähtub, et suhtelise õhuniiskuse suurenedes süsihappegaasi sisaldus lindlate õhus vähenes. Kuna õhuniiskuse ja temperatuuri vahel on tugev korrelatsioon, siis kõrgem temperatuur põhjustab süsihappegaasi sisalduse tõusu ja õhuniiskuse vähenemist ning õhuniiskuse suurenemise korral temperatuur langeb ning süsihappegaasi sisaldus paralleelselt sellega (Liu jt 2017: 5).



Joonis 18. Süsihappegaasi kontsentratsiooni ja suhtelise õhuniiskuse vahelised seosed

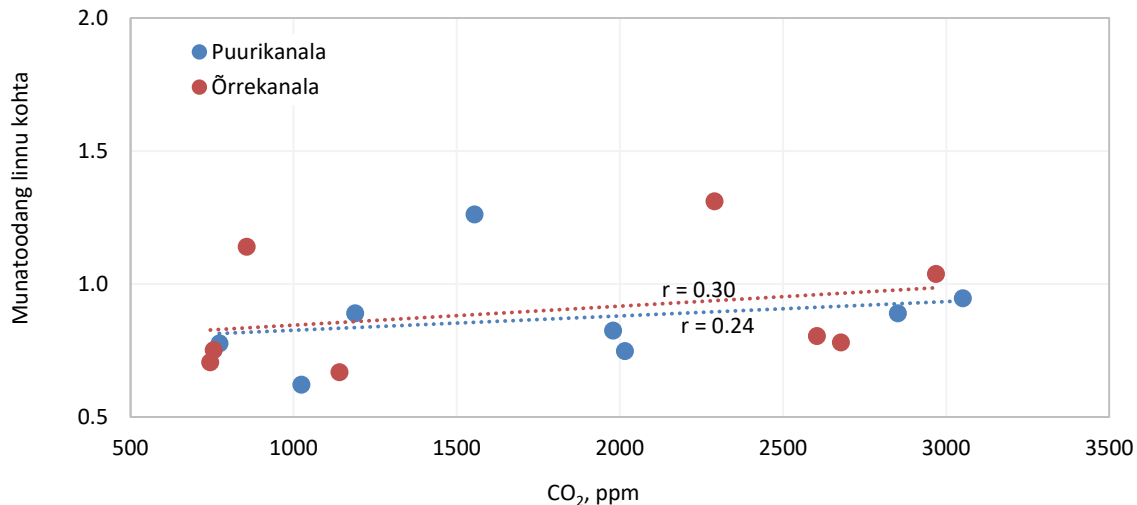
Joonisel 19 on esitatud andmed puuri- ja õrrekanala lindude arvu ja munatoodangu vahelise seose kohta. Mõlema kanala munatoodangul kana kohta ja lindude koguarvu vahel esines negatiivne seos. Seos näitab, et lindude arvu vähenedes munatoodang suureneb ja vastupidi. Lindude munatoodangut võis mõjutada hulgaliselt tegureid, mille tagajärjel oli väiksema linnugrupi munatoodang kõrgem. Munatoodangut mõjutavad tegurid jagunevad geneetilisteks ja väliskeskkonnast tingituteks. Pärilikeks teguriteks võib olla suguküpsus, kana vanuse mõju munatoodangule ja söödakasutus ning väliskeskkonnas tulenevateks näiteks suuremast grupist põhjustatud stress, lindlate mikrokliima jne (Hämmal 2018).

Jooniselt nähtub ka erinevus puuri- ja õrrekanala munatoodangus kana kohta. Puurikanalas oli vastav näitaja kõrgem. Varasemalt läbi viidud uuringutes jõuti sarnastele järeldustele (Abrahamsson jt 1996, Tauson jt 1999 ref Ahammed jt 2014: 1200).



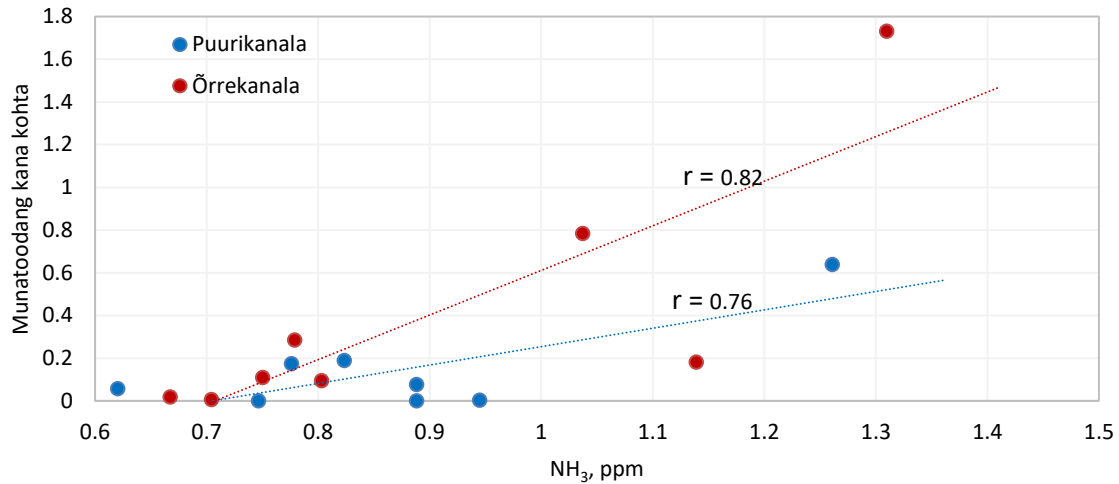
Joonis 19. Lindude koguarvu seos munatoodanguga linnu kohta

Joonisel 20 on esitatud andmed süsihappegaasi kontsentratsiooni ja munatoodangu vahel. Õrrekanala munatoodangul kana kohta ja süsihappegaasi kontsentratsiooni vahel oli nõrk positiivne seos ($r = 0,30$), puurikanala korrelatsioonikordaja oli samuti nõrgalt positiivne ($r = 0,24$). Kuigi seos oli antud mõõtmiste korral positiivne, siis lähtuvalt süsihappegaasi üldisest madalast kontsentratsioonist võib eeldada, et süsihappegaasi sisaldus ei mõjutanud lindude munatoodangut olulisel määral.



Joonis 20. Süsihappegaasi kontsentratsiooni seos munatoodanguga linnu kohta

Joonisel 21 on kujutatud munatoodangu ja ammoniaagi kontsentratsiooni vahelisi seoseid kanalates. Õrrekanala munatoodangul kana kohta ja ammoniaagi sisalduse vahel oli tugev positiivne seos ($r = 0,82$), puurikanala korrelatsioonikordaja oli samuti tugevalt positiivne ($r = 0,76$). Korrelatsioonikordaja näitab, et antud kanalates munatoodangu suurenedes ammoniaagi kontsentratsioon õhus kasvab. Eelnevalt läbiviidud uuringutest on aga selgunud, et ammoniaagi kontsentratsiooni suurenedes üle 25 ppm-i hakkab munatoodang langema (Talukder jt 2010: 255). Linnu Talu OÜ lindlates mõõdetud ammoniaagi kontsentratsioonid olid aga suurusjärgus 0...2 ppm-i, mis on tunduvalt madalam, ning seetõttu võib väita, et negatiivne mõju munatoodangule puudus. Seos munatoodangu ja ammoniaagi kontsentratsiooni suurenemise vahel võis tuleneda muutusest lindude arvust, lindude vanusest, sönniku eemaldamise efektiivsusest, lindla õhutemperatuurist ja niiskusesisaldusest jne.



Joonis 21. Ammoniaagi kontsentratsiooni seos munatoodanguga linnu kohta

Puuri- ja õrrekanalas esines temperatuuri ja munatoodangu vahel kana kohta keskmine positiivne seos. Kanalate optimaalne temperatuur on 22 °C, kui kanala temperatuur tõuseb üle 25 °C munemisintensiivsus langeb (Tikk jt 2007: 128). Temperatuuri muutusega optimaalsest pisut kõrgemale või madalamale kohanevad linnud paremini, kui järsu muutusega. Temperatuuri muutus Linnu Talu OÜ lindlates oli suhteliselt ühtlane, seetõttu munemisintensiivsus tõusis ka kõrgematel temperatuuridel. Munatoodangu ja õhuniiskuse vahel esines puuri- ja õrrekanalas aga nõrk negatiivne seos. Õhuniiskus mõjutas munatoodangut kana kohta minimaalselt.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli konkreetsete mõõtmiste baasil selgitada, kas puuri- ja õrrekanala mikrokliima parameetrite vahel on erinevusi ning kuidas mõjutavad mikrokliima parameetrid munatoodangut. Magistritöö teoreetiline osa annab kirjanduse põhjal ülevaate lindude pidamisviisidest ja -tehnoloogiatest ning nende erinevustest. Lisaks tutvustatakse mikrokliima näitajaid lindlates, kirjeldades nende mõju lindude tervisele ning munatoodangule. Samuti selgitatakse ventilatsiooni ja sõnnikukoristussüsteemide mõju lindlate mikrokliimale.

Magistritöö raames teostati neljal perioodil vahemikus 23.02.2017–16.12.2017 Valgamaal Linnu Talu OÜ lindlates mikrokliima näitajate mõõtmised, mille käigus koguti andmeid puuri- ja õrrekanala õhutemperatuuri ja –suhtelise niiskuse ning ammoniaagi-, süsihappegaasi-, metaani-, divesiniksulfiidi- ning peenosakeste sisalduse kohta. Parameetreid mõõdeti mõlemas kanalas kaks korda igal aastaajal. Lisaks koguti andmeid mõõtepäevade väliskliima näitajate, lindude arvu ja munatoodangu kohta.

Kirjandusallikate ja uurimistulemuste põhjal tehti järgmised järeldused:

1. Puuri- ja õrrekanala temperatuuri, õhuniiskuse-, ammoniaagi- ja süsihappegaasi sisalduse erinevus kanalate mõõtekordade võrdluses oli statistiliselt oluline.
2. Kõige tugevamad mõõdetud parameetrite vahelised seosed ja ka lahknevused, esinesid võrdluses peenosakeste sisaldusega. Õrrekanala õhus oli peenosakeste ja ammoniaagi sisalduse vahel tugev positiivne seos ($r = 0,78$), puurikanalas aga väga nõrk negatiivne korrelatsioon ($r = -0,15$). See võis tuleneda allapanu kasutamisest õrrekanalas.
3. Õrrekanalas esines õhutemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse vahel tugev negatiivne seos ($r = -0,85$) ning puurikanalas nõrk negatiivne seos ($r = -0,32$). Mõõteperioodide jooksul olid õhutemperatuurid õrrekanalas madalamad, millest võib järeldada, et õrrekanala ventilatsioonimahud on stabiilselt suuremad.
4. Õrrekanalas esines süsihappegaasi kontsentratsiooni ja temperatuuri vahel tugev positiivne seos ($r = 0,88$), puurikanalas aga nõrk positiivne korrelatsioon ($r = 0,33$).

Erinevus antud korrelatsioonides võis tuleneda allapanu kasutamisest õrrekanalas, kuna süsihappegaas eraldub sõnnikust orgaanilise aine lagunemisel, mida kiirendab temperatuuri tõus. Allapanu kasutamise tõttu, pole aga õrrekanalas võimalik tagada väljaheidete täielikku eemaldamist. Süsihappegaasi peamiseks allikaks on ka lindude hingamissageduse suurenemine temperatuuri tõustes.

5. Puuri- ja õrrekanala munatoodangul kana kohta ja lindude koguarvu vahel esines negatiivne seos. Uuringust selgus, et puurikanala munatoodang kana kohta on kõrgem kui õrrekanalas. Varasemalt läbi viidud uuringutes jõuti sarnastele järeldustele.
6. Kanalate õhu süsihappegaasi kontsentratsioonide ja munatoodangu vahel kana kohta esines nõrk positiivne seos. Kuna keskmised süsihappegaasi kontsentratsioonid jäid lubatud piirväärtustest oluliselt madalamale siis võib järeldada, et antud näitaja ei avaldanud munatoodangul olulist mõju.
7. Kanalate ammoniaagi kontsentratsioonid ja munatoodangu vahel kana kohta esines tugev positiivne seos. Kuna keskmised ammoniaagi kontsentratsioonid jäid lubatud piirväärtustest oluliselt madalamale tasemele, siis võib järeldada, et antud näitaja ei avaldanud munatoodangule olulist mõju.

Käesolevas magistritöös avaldasid mikrokliima näitajad lindude munatoodangule minimaalset mõju. Esinesid teatavad korrelatsioonid munatoodangu ja mikrokliima parameetrite vahel, kuid kuna andmerealad olid suhteliselt lühikesed, siis on konkreetsete järelduste tegemine ennatlik. Kindlate järelduste tegemiseks tuleks kanalates läbi viia rohkem pikaajalisi mõõtmisi, saamaks paremat ülevaadet mikrokliima ja munatoodangu vaheliste seoste kohta.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Ahammed, M., Chae, B. J., Lohakare, J., Keohavong, B., Lee, M.H., Lee, S.J., Kim, D.M., Lee, J. Y., Ohh, S.J.** (2014). Comparison of aviary, barn and conventional cage raising of chickens on laying performance and egg quality. - *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. Nr. 27. [e-ajakiri]
<https://www.ajas.info/journal/view.php?doi=10.5713/ajas.2013.13394> (01.05.2018)
- Angelstok, F.** (2006). Ventilatsiooni alused. Sisekaitseakadeemia.
http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/17329/Ventilatsiooni_alused.pdf?sequence=1&isAllowed=y (02.05.2018)
- Best available techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. (2017). /Ed. G.G. Santonja, K. Georgitzikis, B. M. Scalet, P. Montobbio, S. Roudiet, L. D. Sancho. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. [on-line] (30.04.2018)
- Bouquin, Le. S., Huneau-Salaün, A., Huonnic, D., Balaine, L., Martin, S., Michel, V.** (2013). Aerial dust concentration in cage-housed, floor-housed, and aviary facilities for laying hens. - *Poultry Science*. Nr. 92. [e-ajakiri]
<https://academic.oup.com/ps/article/92/11/2827/1602343> (01.05.2018)
- Brouček, J.** (2017). Nitrous oxide release from poultry and pig housing. – *Polish Journal of Environmental Studies*. Nr. 27. [e-ajakiri]
<http://www.pjoes.com/pdf/27.2/Pol.J.Environ.Stud.Vol.27.No.2.467-479.pdf>
(01.05.2018)
- Brouček, J., Čermák, B.** (2015). Emission of harmful gases from poultry farms and possibilities of their reduction. – *Ekológia*. Nr. 34. [e-ajakiri]
<https://www.degruyter.com/view/j/eko.2015.34.issue-1/eko-2015-0010/eko-2015-0010.xml> (01.05.2018)
- Casey, K. D., Bicudo, J. R., Schmidt, D. R., Singh, A., Gay, S. W.** (2006). Air quality and emissions from Livestock and poultry production/waste management systems. - *Agricultural and Biosystems Engineering*.

- https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.ee/&httpsredir=1&article=1624&context=abe_eng_pubs (01.05.2018)
- Czarick, M., Fairchild, B.** (2012). Relative Humidity...The Best Measure of Overall Poultry House Air Quality. *Poultry housing tips*. Nr. 24. [e-ajakiri] <https://www.poultryventilation.com/sites/default/files/vol24n2.pdf> (01.05.2018)
- David, B., Moe, RO., Michel, V., Lund, V., Mejdell, C.** (2015). Air quality in alternative housing systems may have an impact on laying hen welfare. Part I- Dust. - *Animals (Basel)*. Nr. 5. [e-ajakiri] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26479370> (01.05.2018)
- Description of housing systems for laying hens. (2006). Welfare implications of changes in production systems for laying hens. Laywel animal sciences group. [on-line] <http://www.laywel.eu/web/xmlappservlet38c3.html> (01.05.2018)
- Fabbri, C., Valli, L., Guarino, M., Costa, A., Mazzotta, V.** (2007). Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. - *Biosystems Engineering*. Nr. 97. [e-ajakiri] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511007001201> (01.05.2018)
- Farmi sisekliima. (2014). /Ed. A. Kaasik. MES nõuandeteenistus. [veebileht] <https://www.pikk.ee/valdkonnad/loomakasvatust/pollumajandusloomade-ja-lindude-pidamine-ja-heaolu/farmi-sisekliima/> (02.05.2018)
- Gerber, P., Opio, C., Steinfeld, H.** (2008). Poultry production and the environment – a review. - *Poultry in the 21st century*. [veebileht] http://www.fao.org/ag/againfo/home/events/bangkok2007/docs/part2/2_2.pdf (03.05.2018)
- Glossary of terms on livestock and manure management. (2011). / Ed. B. Pain, H. Menzi. [on-line] http://ramiran.uvlf.sk/doc11/RAMIRAN%20Glossary_2011.pdf (01.05.2018)
- Harris, C.** (2007). Modern aviary desing. The poultry site. [veebileht] <http://www.thepoultrysite.com/articles/929/modern-aviary-design/> (03.05.2018)
- Heerkens, J., Delezie, E., Kempen, I., Zoons, J., Ampe, B., Rodenburg, T., Tuytens, F.** (2015). Specific characteristics of the aviary housing system affect plumage condition, mortality and production in laying hens. – *Poultry Science*. Nr. 94. [e-ajakiri] <https://academic.oup.com/ps/article/94/9/2008/1570715> (01.05.2018)

- Kaasik, A., Maasikmets, M.** (2014). Ammoniaagi ja väävelvesiniku emissioonist vedelsõnnikuhoidlatest. – *Agraarteadus*. Nr. 2. [e-ajakiri]
http://agrt.emu.ee/pdf/2014_2_kaasik.pdf (01.05.2018)
- Ehitusfüüsika II. (2018). /Ed. T. Kalamees. Tallinna Tehnikaülikool. [on-line] õppematerjal
<https://www.ttu.ee/projektid/buildest/buildest2/oppematerjalid-43/> (08.05.2018)
- Kender, T., Arulepp, M., Veermäe, I.** (1998). Ammoniaagisisalduse monitooring loomakasvatushoonete õhus elektrokeemilise ammoniaagianduriga. /Koost. K. Annuk, A. Lember, J. Praks, A. Reintam, O. Saveli, H. Tikk, R. Viiralt. Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi Toimetised. Nr. 7. Tartu: OÜ Tartumaa Trükikoda, lk 1.
- Kocaman, B., Esenbuga, N., Yildiz, A., Lacin, E., Macit, M.** (2006). Effect of environmental condition in poultry house on the performance of laying hens. – *International Journal of Poultry Science*. Nr. 5. [e-ajakiri]
<http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ijps/2006/26-30.pdf> (01.05.2018)
- Lewko, L., Gornowicz, E.** (2011). Effect of housing system on egg quality in laying hens. – *Annals of Animal Science*. Nr. 11. [e-ajakiri]
<https://www.degruyter.com/view/j/aoas.2011.11.issue-4/v10220-011-0012-0/v10220-011-0012-0.xml> (01.05.2018)
- Lihakanade kaitse miinimumeskirjad. Nõukogu direktiiv 2007/43/EÜ. (vastu võetud 28.06.2017). – *Euroopa Liidu Teataja* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007L0043&from=ES> (03.05.2018)
- Liu, Y., Ni, X., Wu, Y., Zhang, W.** (2017). Study on effect of temperature and humidity on the CO₂ concentration measurement. – *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Nr. 81. [e-ajakiri] <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/81/1/012083/meta> (02.05.2018)
- Mahepõllumajanduslik linnukasvatus. (2011). /Ed. V. Ilves, M. Pomerants, A. Vetemaa, M. Mikk. AS Pajo. Maaeluministeerium [on-line]
http://www.maheklubi.ee/upload/Editor/Trykised/mahe_linnukasvatus.pdf (02.05.2018)
- Management of dust in broiler operations. (1999). Poultry factsheet. British Columbia. Ministry of agriculture and food. Abbotsford agriculture center.
<https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture->

- and-seafood/farm-management/structures-and-mechanization/300-series/384200-9_management_of_dust_in_broiler_operations.pdf (02.05.2018)
- Metsaoru, M.** 2013. Dillämmastikoksiidi emissioon põldudel OÜ Weissi näitel. Bakalaureusetöö. Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste instituut. Tartu. 63 lk. http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/31335/Metsaoru_Marianne.pdf (01.05.2018)
- Munakanad. (2018). /Ed. J. Hämmal. [veebileht] MES nõuandeteenistus. [veebileht] <https://www.pikk.ee/valdkonnad/loomakasvatus/linnukasvatus/pidamine/munakanad/#.WrAG7OhubIU> (02.05.2018)
- Munakanade kaitse miinimumnõuded. Nõukogu direktiiv 1999/74/EÜ. (vastu võetud 19.07 1999). - *Euroopa Liidu Teataja* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex%3A31999L0074> (03.05.2018)
- Munaproduktiivsus. (2018). /Ed. J. Hämmal. [veebileht] MES nõuandeteenistus. [veebileht] <https://www.pikk.ee/valdkonnad/loomakasvatus/linnukasvatus/joudlus/munaproduktiivsuse/> (02.05.2018)
- Nõuded kanade pidamisele ja selleks ettenähtud ruumile või ehitisele. (vastu võetud 19.06.2003, viimati jõustunud 05.07.2003). - *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/601910?leiaKehtiv> (02.05.2018)
- Oier, A., Fernando, E., Haritz, A., Salvador, C., Pilar, M.** (2013). Methane emission from a laying hen house in Spain. https://www.researchgate.net/profile/Oier_Alberdi/publication/275823423_Methane_emission_from_a_laying_hen_house_in_Spain/links/55472f1a0cf24107d3981b8e.pdf (01.05.2018)
- Peenosakesed (tolm). (2014). /Ed. A. Kaasik. MES nõuandeteenistus. [veebileht] <https://www.pikk.ee/valdkonnad/loomakasvatus/pollumajandusloomade-ja-lindude-pidamine-ja-heaolu/farmi-sisekliima/peenosakesed-tolm/#.WrkODohubIU> (02.05.2018)
- PVT-järeldused kodulindude ja sigade intensiivkasvatuse kohta. (2017). Komisjoni rakendusotsus (EL) 2017/302. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2010/75/EL alusel parima võimaliku tehnika (PVT) alased järeldused kodulindude ja sigade intensiivkasvatuse jaoks. Brüssel: Euroopa Parlament ja nõukogu. [veebileht] https://www.envir.ee/sites/default/files/pvt_jareldused_kodulindude_ja_sigade_inteniivkasvatusele.pdf (02.05.2018)

- Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika sigade ja lindude intensiivkasvatustes. (2005). /Ed. A. Kaasik. [on-line]
<http://www.ippc.envir.ee/docs/PVT/sead-linnud-pvt%20eesti%20k.pdf> (02.05.2018)
- Sainsbury, D.** (2000). Poultry health and management. Blackwell Science Ltd: Blackwell Publishing Company. 19, 47-49, 184 lk.
- Šottnik, J.** (2005). Climatical factors and their effect on production in animal housing.
<http://cbks.cz/sbornik05b/Sotnik.pdf> (01.05.2018)
- Talukder, S., Islam, T., Islam, M.M.** (2010). Effects of environment on layer performance. - *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. Nr. 8. [e-ajakiri]
https://www.researchgate.net/profile/Subir_Sarker2/publication/267773320_Effects_of_environment_on_layer_performance/links/54a316be0cf256bf8bb0e006/Effects-of-environment-on-layer-performance.pdf (01.05.2018)
- The welfare of layer hens in cage and cage-free housing systems. (2016). RSPCA Australia.
http://www.animalwelfarestandards.net.au/files/2015/07/FINAL_2016-08-The-welfare-of-layer-hens-in-cage-and-cage-free-housing-systems-FINAL.pdf (01.05.2018)
- Thiele, H-H., Pottgüter, R.** (2008). Management recommendations for laying hens in deep litter, perchery and free range systems. – *Lohmann Information*. Nr. 43. [e-ajakiri]
http://lohmann-information.com/content/l_i_43_artikel6.pdf (01.05.2018)
- Tikk, H., Tikk, V., Piirsalu, M., Hämmal, J.** (2007). Linnukasvatus I. (1. tr). Tartu: OÜ Tartumaa Trükikoda. 126, 128, 129-132, 136-139, 141-142 lk.
- Wu-Haan, W.** 2006 . Dietary strategies to reduce air emissions from laying hen operations. Magistritöö. Iowa State University. Iowa. 83 lk.
<https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.ee/&httpsredir=1&article=2369&context=rtd> (01.05.2018)

SUMMARY

The aim of the Master's thesis was to provide an overview of the ways and technologies for keeping birds and their differences. To introduce microclimate indicators in poultry houses, describes their impact on birds health and egg production. Also, explain the effects of ventilation and manure removing systems on the poultry houses microclimate. The practical goal was to find out, based on specific measurements, whether there are differences between the parameters of the microclimate of the enriched cage and aviary and how the microclimate parameters influence egg production.

In the Linnu Talu OÜ four periods of measurements of microclimate indicators was carried out between 23.02.2017-16.12.2017. During that time data was collected about air temperature, air humidity, ammonia, carbon dioxide, methane, dihydrogen sulfide and fine particle contents in enriched cage and aviary. Parameters were measured on each poultry house twice every period. Additional data was collected about the indicators of the outdoor climate, the number of birds and egg production for measuring days.

Based on literature sources and research findings, the following conclusions were made:

1. Comparison of the measurements the temperature, humidity, carbon dioxide, ammonia and carbon dioxide content difference was statistically significant in enriched cage and aviary.
2. The strongest correlations and also discrepancies between the measured parameters were observed in comparison with the fine particles content in the poultry houses. A strong positive relationship ($r = 0,78$) was found between the fine particles and the ammonia content in the aviary while in the enriched cage was found a very weak negative correlation ($r = -0,15$). This could have been due to the use of bedding in the aviary.
3. In the aviary, there was a strong negative correlation between air temperature and relative humidity ($r = -0,85$) and weak negative correlation ($r = -0,32$) in the enriched

cage. During the periods of measurement, the air temperatures were lower in the aviary, suggesting that the venting volumes of the aviary are steadily higher than enriched cage.

4. There was a strong positive correlation ($r = 0,88$) between the carbon dioxide concentration and the temperature in the aviary, but a weak positive correlation in the enriched cage ($r = 0,33$). The difference in these correlations may have been due to the use of bedding in the aviary, as carbon dioxide is released from manure in the decomposition of organic matter, which is accelerated by temperature rise. Due to the use of bedding, it is not possible to ensure complete removal of feces in the aviary. Also one of the main sources of carbon dioxide is the increasing bird's respiratory rate when temperature rises.
5. There was a negative correlation between the total number of birds and poultry houses egg production. The study revealed that the egg production in the enriched cage for chicken is higher than the aviary. Previous studies have come to similar conclusions.
6. There was a weak positive correlation between the carbon dioxide concentrations and the egg production per hen. As the average carbon dioxide concentrations were significantly lower than the permitted values, it can be concluded that this indicator did not have a significant effect on egg production.
7. There was a strong positive correlation between the carbon dioxide concentrations and the egg production per hen. Since the average ammonia concentrations were significantly lower than the permitted limit values, it can be concluded that this indicator did not have a significant effect on egg production.

In the Master's thesis, microclimate indicators showed a minimal impact on egg production of hens. There were some correlations between egg production and microclimate parameters, but because there were not enough data, then making final conclusions is not reasonable. For more specific conclusions, more long-term measurements should be carried out in the poultry houses in order to get a better overview of the interactions between micro-climate and egg production.

LIHTLITSENTS

Mina, Eve Kurvits,

sünniaeg 18. veebruar 1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
Õrre- ja puurikanala mikrokliima parameetrite võrdlus ning mikrokliima mõju munatoodangule
Linnu Talu OÜ näitel, mille juhendaja on dotsent Allan Kaasik,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)